



چون جریبیین

الحياة السريّة للشمس

ترجمة
لبنى الریدی
مراجعة
محمد زاهر المنشاوی

الحياة السريّة للشمس

الألف كتاب الثانى نافذة على الثقافة العالمية

رئيس مجلس الإدارة
د. ناصر الأنصارى

رئيس التحرير
د. محمد عنانى

مدير التحرير
عزت عبد العزيز

مدير التحرير الفنى
محسنة عطية

سكرتير التحرير
هند فاروق

متابعة
نجوى إبراهيم
زوبة صالح
رشا محمد

تصحيح
محمد حسن
بدر شفيق

• الكتاب: الحياة السرية للشمس

BLINDED BY THE LIGHT

• للكاتب: جون جريبين John Gribbin

• الكتاب الأصلي صادر باللغة الإنجليزية ويصدر
باللغة العربية بإذن خاص

Copyright © John and Mary Gribbin, 1991

• جميع حقوق الطبعة العربية فى العالم محفوظة للهيئة
المصرية العامة للكتاب
• الطبعة الأولى: ٢٠٠٨

• طبع فى مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

كورنيش النيل، رملة بولاق، القاهرة.

ت: ٢٥٧٧٥٢٢٨ / ٢٥٧٧٥٠٠٠

فاكس: ٢٥٧٥٤٢١٣ (٠٠٢٠٢)

ص.ب: ٢٣٥ - الرقم البريدى: ١٧٩٤ ارميس

WWW.egyptianbook.org.eg

E-mail: info@egyptianbook.org.eg

جريبين، جون.

الحياة السرية للشمس / جون جريبين؛ ترجمة لبنى

الريدى؛ مراجعة محمد زاهر المنشاوى. القاهرة -

الهيئة المصرية العامة للكتاب، ٢٠٠٨. ٢٧٢ ص؛

٢٤ سم.

تدمك ٨ ٩٣ ٤٢٠ ٩٧٧ ٩٧٨

١ - الشمس

أ - الريدى، لبنى (مترجم)

ب - المنشاوى، محمد زاهر

ج - العنوان

رقم الإيداع بدار الكتب ١٦٧٥٦ / ٢٠٠٨

I.S.B.N - 978 - 977 - 420 - 493 - 8

ديوى ٥٢٣،٧

چون جریبپین

الحياة السريّة للشمس

ترجمة

لبنى الريدى

مراجعة

محمد زاهر المنشاوى



الهيئة المصرية العامة للكتاب

٢٠٠٨

الألف كتاب فى سطور

صدر مشروع الألف كتاب الأول عام ١٩٥٥ بإشراف الإدارة العامة للثقافة، التابعة لوزارة التربية والتعليم. وقد اهتم بأمهات الكتب العالمية والكلاسيكيات، كما شمل العلوم البحتة، والعلوم التطبيقية، والمعارف العامة، والفلسفة وعلم النفس، والديانات، والعلوم الاجتماعية، واللغات، والفنون الجميلة، والأدب بفروعه، والتاريخ والجغرافيا والتراجم. وتوقف العمل به عام ١٩٦٩.

صدر مشروع الألف كتاب الثانى عام ١٩٨٦ عن الهيئة المصرية العامة للكتاب. وقد اهتم بترجمة الكتب الحديثة محاولةً منه للاتصال بالثورة العلمية والثقافة العالمية المعاصرة.

وقد قُسمت إصدارات المشروع إلى ١٩ فرعاً هى: الموسوعات والمعاجم، والدراسات الاستراتيجية وقضايا العصر، والعلوم والتكنولوجيا، والاقتصاد والعلوم الإدارية، ومصر عبر العصور، والكلاسيكيات، والفن التشكيلى والموسيقى، والحضارات العالمية، والتاريخ، والجغرافيا والرحلات، والفلسفة وعلم النفس، والعلوم الاجتماعية، والمسرح، والطب والصحة، والأدب واللغة، والإعلام، والسينما، وكتب غيرت الفكر الإنسانى، والأعمال المختارة.

(أنظر القائمة آخر الكتاب)

الفهرس

٧	المقدمة
	الفصل الأول
٩	تاريخ قديم
	الفصل الثاني
٤٣	مراكز الطاقات الهائلة
	الفصل الثالث
٧٣	فى قلب الشمس
	الفصل الرابع
١٠١	عدد قليل جداً من الأشباح
	الفصل الخامس
١٣٣	فكرة غريبة أخرى
	الفصل السادس
١٥٩	الشمس تتنفس
	الفصل السابع
١٨٧	الشمس المرتجفة
	الفصل الثامن
٢٠٩	الكبير والصغير
	الملاحق
٢٢٥	ملحق أ: أرجوحة العلم
٢٣٨	ملحق ب: رابطة السوبرنوفا

المقدمة

لقد احتفظت الشمس دائماً بأسرارها. فمنذ أقل من مائة عام مضت، لم يكن أحد يعرف كيف تحتفظ الشمس بحرارتها، ولا حتى بشكل عام. ومنذ فترة أقل من عمر إنسان، لم يكن أحد يعرف مم تتكون الشمس. وقبل خمسين عاماً فقط بدأت تفاصيل العمليات النووية التي توقد الشمس تصبح واضحة. ولعدة قرون، كان التقدم بطيئاً، بدرجة مؤلمة، نحو فهم فلكي للعمليات التي تتم في عمق الشمس. وكان التقدم بطيئاً لسبب يدعو للسخرية.

إن شمسنا مجرد نجم، مثلها مثل العديد من النجوم الأخرى التي نراها في السماء ليلاً، وإن كانت تبدو لنا ساطعة لهذه الدرجة فلأنها ببساطة قريبة جداً منا، فهي تقع على بعد ١٥٠ مليون كيلومتر، ولأنها قريبة جداً وسطحها شديد السخونة (حوالي ست ^{٥٠٠}ف درجة مئوية)، فإنها تلمع بضوء مبهر، ومن السهل على علماء الفلك دراسة سطح نجمنا الجار وغلافه الجوي. لكن دراسة الأجزاء الداخلية العميقة من الشمس أمر مختلف تماماً، وذلك هو العمل الذي أضفناه هنا.

ليس فقط علماء الفلك، ولكن أدواتهم أيضاً، ستُصاب بالعمى من الضوء المنبعث من «سطح» الشمس إذا حدقوا فيه طويلاً. إن شدة سطوع السطح تساعد على إخفاء المعالجات التي تتم في أعماق الشمس، وتقول لنا فقط إن شيئاً ما، في أعماقها، يولّد بالفعل كميات ضخمة من الطاقة. إن رواد الفيزياء الفلكية - التي تدرس عمل النجوم - ما كانوا ليحلموا قط أنهم سيتمكنون يوماً من رؤية داخل قلب الشمس، ويجرون

قياسات مباشرة للظروف هناك. لكن تم في السنوات الأخيرة تطوير عمليتين منفصلتين ومستقلتين تماماً لسبر داخل الشمس. وتتضمن هاتان العمليتان تطورات غريبة، مثل تلسكوب مدفون بأعماق منجم تحت سطح الأرض، وأدوات شديدة الحساسية لدرجة أنها تستطيع قياس ذبذبات تحرك رقعاً من سطح الشمس إلى الداخل والخارج لمسافة عشرات الأمتار. والشئ الأكثر غرابة، أن بعض تلك الدراسات الجديدة للظروف في قلب الشمس قد تخبرنا بأشياء مهمة عن تطور الكون ككل وعن مصيره النهائي.

ونحن على مشارف الألفية الثالثة لم يعد الضوء المنبعث من سطح الشمس يعنى علماء الفلك، فقد أصبحوا قادرين على قياس ما يحدث في قلبها مباشرة. إن هذا الكتاب يحكى قصة كيف بدأ رواد الفيزياء الفلكية كشف أسرار الشمس، ويشير إلى الطريق الذى ستتسلكه سبل سبر داخل الشمس في السنوات والعقود القادمة.

جون جريبير

الفصل الأول

تاريخ قديم

لقد أثارت الشمس خيال الجنس البشرى كما لم يثره شيء آخر. فى الأزمنة الأولى، انت تُعبد باعتبارها إلهاً حيث أدرك أسلافنا بوضوح أن الشمس تجلب الحياة لكوكب الأرض والنماء للكائنات. اعتقد القدماء أن الشمس كرة من نار، تسافر عبر سماء كوكبنا الأرض نهاراً، وتعود خلال الليل إلى نقطة بدايتها، عبر ممرات وكهوف تحت الأرض، لتستعد للفجر التالى. وفى القرن الخامس قبل الميلاد، قام الفيلسوف اليونانى الأثينى أناكزاجوراس(*) (Anaxagoras) بأول محاولة مسجلة لوضع تلك الأفكار فيما يمكن اعتباره أساساً علمياً فى الوقت الحاضر. لقد كان تفكيره العلمى جيداً تماماً، غير أن الوقائع التى رصدها واعتمد عليها فى تفكيره كانت للأسف ناقصة، وبالتالى انتهت أفكاره عن الشمس نهاية مُضِلَّة للغاية، عند النظر إليها بمنظورنا الآن. إلا أن أناكزاجوراس يستحق مكانة مميزة لأنه على الأقل قدم جهداً لفهم الشمس كظاهرة طبيعية تخضع للقوانين نفسها التى يخضع لها باقى الكون، ولم يتعامل معها كشيء خارق للطبيعة يستعصى على فهم البشر.

وكان سقوط أحد النيازك ذات يوم فى منطقة بين الرافدين من الأشياء التى جعلت أناكزاجوراس يبدأ التفكير فى طبيعة الشمس. ولما كان النيزك ساخناً، فقد فكر

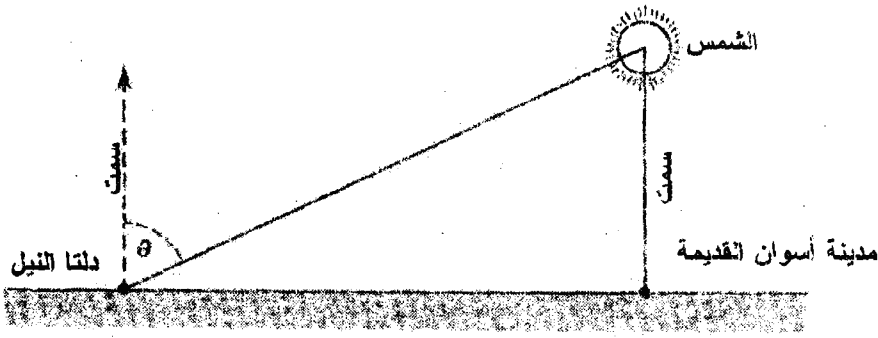
(*) أناكزاجوراس (٥٠٠ - ٤٢٨ ق.م) فيلسوف يونانى كان يدرّس فى أثينا وتلميذ عليه العديد من القادة. (المراجع).

الفيلسوف أنه لا بد أن يكون قادماً من الشمس. ولأن النيزك يحتوى على حديد، فلا مفر من استنتاج أن الشمس أيضاً تتكون من الحديد. وكان وصف الشمس بأنها كرة من الحديد الساخن الأحمر تتحرك عالياً فوق الأرض، وتستطيع بالطبع توفير الدفء النابع منها وتكون سبباً في دورة الليل والنهار - يُعد وصفاً مقبولاً طبقاً لما كان يعلمه الجميع في تلك الأيام. ومن ثم يمكن أن يعتبر علماء العصر الحديث هذا الوصف للشمس، بمقاييس عصره، فرضية طيبة للعمل، وقاعدة لمزيد من البحث والدراسة. لكن مثل كل الفرضيات العلمية الجيدة، أثارت هذه الفرضية أسئلة جديدة كان على الفلاسفة أن يحاولوا الإجابة عنها، مثل: ما حجم كرة الحديد الأحمر الساخن؟ وعلى أى بعد تتحرك هذه الكرة فوق الأرض؟

في تلك الأيام، كان الفلاسفة، في الواقع، لا يقومون كثيراً بالتجربة والملاحظة بأنفسهم. كانوا يستمعون إلى تقارير عن ظواهر طبيعية مثيرة، ثم يحاولون ملاءمة الأجزاء المختلفة للدليل المنقول والمسموع من الغير لتكوين صورة متماسكة ومقنعة. فعلى سبيل المثال، لم يسافر أناكزاجوراس قط إلى الجزء العلوى من نهر النيل، ولكنه سمع تقارير من رحالة ذهبوا إلى هناك. حيث قالوا إن الشمس في مدينة سين(*) التى كانت تقع قرب الموقع الحالى لسد أسوان، تكون في كبد السماء في الظهر ولا تلقى بأى ظل، وذلك في يوم الانقلاب الصيفى (وهو أطول يوم). ربما لم يكن أناكزاجوراس رحالة ولم يعتمد على التجربة، لكنه كان يعرف جيداً قوانين الهندسة، كما كان يعرف أن الشمس عند الظهيرة في يوم الانقلاب الصيفى عند دلتا النيل، أى على بعد حوالى ٥٠٠ ميل شمال مدينة أسوان القديمة، تصنع مع الاتجاه الرأسى زاوية تُقدر بحوالى سبع درجات. وبما أنه كان «يفترض» أن الأرض مسطحة، أمكنه أن يحسب بسرعة ارتفاع الشمس فوق الأرض، مستخدماً الخواص الهندسية الدقيقة للمثلثات القائمة الزاوية (شكل ١ - ١)، ووجد أن الشمس تقع على بعد أربعة آلاف ميل فوق رؤوس المراقبين في مدينة أسوان القديمة.

ولأنه كان يعلم أيضاً الحجم الظاهرى للشمس (نصف قطرها الزاوى حوالى نصف درجة)، أمكنه أن يحسب، من خلال هندسة المثلثات، الحجم الفعلى للشمس لكى تظهر لعيوننا بالحجم الذى نراه. وكان تقديره، أن قطر الشمس حوالى ٢٥ ميلاً، وهو ما يعنى أن حجمها يماثل لدرجة كبيرة حجم بيلوبونيزوس، شبه الجزيرة الجنوبية لليونان.

(*) الاسم القديم لمدينة أسوان (المراجع).



شكل (١ - ١) مفترضاً أن الأرض مسطحة، ومستخدماً هندسة المثلثات القائمة الزاوية، قدر أناكزاجوراس في القرن الخامس قبل الميلاد أن الشمس يجب أن تكون على ارتفاع أربعة آلاف ميل فوق رؤوسنا.

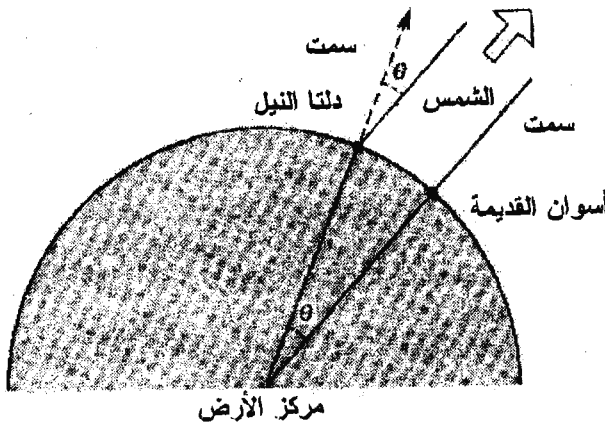
وكان ذلك الطرح مدمراً في يونان القرن الخامس قبل الميلاد، حيث أحدث صدمة، فاعتقل أناكزاجوراس في أول الأمر بتهمة الهرطقة، ثم تم نفيه بعد ذلك مدى الحياة من مدينة أثينا موطنه - وهي معاملة شبيهة جداً بالمصير الذي عانى منه جاليليو على أيدي السلطات الدينية في زمانه، عندما تجرأ هو أيضاً وافترض أن الشمس ظاهرة طبيعية. مع أن ذلك حدث بعد مرور أكثر من ألفي عام على حادثة الفيلسوف الإغريقي، أي في القرن السابع عشر. وطوال هذا الوقت، من زمن أناكزاجوراس إلى جاليليو، لم يحاول أحد، على حد علمنا، أن يفهم الشمس من منظور علمي - فيا لها من عصور مظلمة! لكن حتى في القرن العشرين، حيث يروق لنا الاعتقاد بأننا نتمتع بفكر مفتوح أكثر من العصور السابقة، وأن فهمنا للكون الذي نعيش فيه أفضل من فهم أسلافنا، فمن المفيد التفكير في مثال أناكزاجوراس بجديّة، فحتى أخطاؤه يمكن أن تعلمنا الكثير عن العلم، وعن مخاطر الرضا عن النفس.

إن تصوّر الشمس ككرة من الحديد الأحمر الساخن تصور معقول تماماً في ذلك الزمن، ولا يمكن أن يُعاب على أناكزاجوراس ذلك. ولا غبار أيضاً على حسابه الهندسي لارتفاع الشمس فوق كوكب الأرض المسطح. لكن خطأه الكبير هو التسليم بأن «ما يعرفه الجميع» هو الحقيقة - وأن كوكب الأرض مسطح. وبعد مائتي عام، استخدم فيلسوف إغريقي آخر هو إراتوستينس (*) (Eratosthenes) الدليل نفسه لحساب قطر

(*) إراتوستينس (٢٧٦ - ١٩٤ ق.م.) عالم فلك وباحث يوناني وُلد في سيرين (برقة). وكان يكتب الشعر ويمارس الأدب والمسرح والرياضيات، وحاول قياس محيط الكرة الأرضية عن طريق تعامد الشمس وقت الظهيرة في يوم واحد في الإسكندرية وأسوان عندما تكون الشمس عمودية على مدار السرطان. (المراجع).

كوكب الأرض الكروي، وحيث افترض أناكزاجوراس أن الأرض مسطحة واستنتج بناءً على ذلك أن الشمس ترتفع فوقنا بمسافة أربعة آلاف ميل فقط، افترض إراتوستينس أن الشمس بعيدة جداً عن الأرض بحيث إن أشعة الضوء القادمة منها تصل الأرض في خطوط متوازية، واستخدم الزاوية التي تكونها الشمس مع العمودي في يوم الانقلاب الصيفي، كما تُرى من دلتا النيل، لحساب قطر كوكب الأرض (شكل ٢ - ١). ولأن الزاوية التي تضمنها الحساب الهندسي واحدة، فلقد حصل على «الإجابة» نفسها، وهي أربعة آلاف ميل، لكنه فسر هذه النتيجة على أنها نصف قطر كوكب الأرض، وليس ارتفاع الشمس فوق الأرض. ولدينا الآن قدر كبير من الأدلة التي تثبت أن إراتوستينس كان تقريباً على صواب في تفكيره.

لكن المعنى والحكمة من هذه القصة ليسا أن أناكزاجوراس كان على «خطأ» وأن إراتوستينس كان على «صواب». إن العلماء الجيدين لا ينظرون حتى إلى أفضل نظرياتهم باعتبارها «صواباً» بأي معنى مطلق. فهناك ببساطة نظريات جيدة وأخرى رديئة. والنظريات الجيدة هي التي تسمح لك بأن تقدم تنبؤات دقيقة حول سلوك الأشياء في الواقع، فيما تؤدي النظريات الرديئة إلى تنبؤات غير دقيقة، أو ليست جديرة بالثقة. إن أفضل النظريات، مثل النسبية العامة، جيدة جداً بالفعل لأنه لم يثبت أبداً أنها قدمت تنبؤات غير دقيقة. ولكن حتى النظريات الأقل، مثل نظرية نيوتن الخاصة بالجاذبية الأرضية، فإنها ملائمة تماماً للعديد من الأغراض شريطة أن يتم فهم قيودها وحدودها.



شكل ٢ - ١ بافتراض أن الأرض دائرية، وأن الشمس تبعد عنها مسافات شاسعة، استخدم فيلسوف يوناني لاحق، إراتوستينس الحساب الهندسي نفسه الذي استخدمه أناكزاجوراس لاستنتاج أن نصف قطر الأرض يجب أن يكون أربعة آلاف ميل تقريباً. كلا الحسابين صحيح، والخطأ كان في فرضية أناكزاجوراس.

وبذلك المعنى، فإن الفكرتين عن علاقة الشمس بالأرض التي قدمها الفيلسوفان اليونانيان تشكلان مجموعة جيدة من الفرضيات. إن البرهان الهندسى الذى حصلنا عليه بمراقبة ارتفاع الشمس عند دلتا النيل وعند مدينة أسوان القديمة، يفيد «إما» أن الأرض مسطحة والشمس تبعد مسافة أربعة آلاف ميل فوقها، «أو» أن الشمس تبعد عن الأرض مسافات شاسعة وأن الأرض كرة نصف قطرها أربعة آلاف ميل. وكان الدليل المتاح فى ذلك الوقت يتفق مع أى الاحتمالين. وكان الأمر لا يحتاج إلا إلى المزيد من المشاهدات وعمليات الرصد والقياسات لاكتشاف أى الفرضيتين صحيح. وتفسير نفس المجموعة من البيانات تفسيرين مختلفين يؤدى إلى علم جيد. لكن الدرس المستهدف من هذه القصة هو أنه حتى المفكر الراديكالى(*) وبعيد النظر، الذى لا يخشى سطوة السلطات القائمة فى بحثه عن الحقيقة، لا يمكنه أن يتخلص من سطوة فكرة الأرض المسطحة. كان أناكزاجوراس متيقناً من أن الأرض مسطحة بحيث لم يطرح الافتراض للبحث - وإلا لكان هو وليس إراتوستينس من يُعزى إليه أول قياس دقيق لنصف قطر الأرض. إن تاريخ العلم زاهر بمثل تلك الأمثلة التعيسة لنظريات حاولت البرهنة بمنطق كامل ودقة تامة؛ ولكنها انطلقت من قاعدة يقين غير مُفند فى شىء اتضح بعد ذلك أنه غير صحيح إطلاقاً. إن المنهج العلمى الحقيقى يقضى بعدم اعتبار أى شىء حقيقة مُسلماً بها؛ لكن بعض الافتراضات، مثل أن الأرض مسطحة فى زمن أناكزاجوراس، كانت متأصلة بعمق بحيث يتعذر استئصالها.

وإذا بدا أننى أفرطت فى علاج هذه النقطة، فسرعان ما سيتضح أسباب ذلك. إن قصة الكيفية التى طور بها علماء الفلك فهمهم للطريقة التى تحافظ بها الشمس على نيرانها الداخلية تزخر بأمثلة مشابهة لأمر تبدو واضحة ومسلماً بها من قبل جيل من العلماء، ثم يرفضها الجيل التالى لهم تماماً. إن قوة النظرية تتبع من صحة الافتراضات التى بُنيت عليها، والمحك الحقيقى الوحيد لقوة أية نظرية هى قدرتها على التنبؤ الصحيح. وبناء على هذا المعيار، فقد تودى القصة، التى ينبغى أن أقولها، إلى اتجاهات غير متوقعة، ولكنها تتبع مساراً محتوماً. فهى تُعنى أولاً بالجزء الداخلى للشمس - سر الشمس - وكيف حافظ على إمداد مستقر من الحرارة لآلاف المليارات من السنين، وهذا

(*) الراديكالى: نسبة إلى الراديكالية، وهى أية مجموعة من الأفكار تنادى بتغيير جوهرى من الناحيتين الاجتماعية والسياسية بدلاً من الترويج للتيارات السائدة. وإطلاق هذه الصفة على أى فكر عملية تقديرية بحتة، وهكذا فإنه مصطلح فضفاض ذو إطار واسع. (المراجع).

الموضوع لم يصبح لغزاً بالنسبة للعلماء إلا فى القرن التاسع عشر فقط، عندما أدى اكتشاف قوانين الديناميكا الحرارية إلى الكشف عن أنه ما من شيء يمكن أن يظل ساخناً للأبد، ولا حتى الشمس. وبلغت تاريخ الفلك، يُعد علم القرن التاسع عشر تاريخاً قديماً. لكن قبل أن تنتقل إلى الموضوع الرئيس لقصتنا، ربما كان على أن أوضح لماذا يبدو علماء الفلك فى الوقت الراهن واثقين جداً من أن فكرتهم عن مدى بعد الشمس وحجمها ودرجة حرارتها، صحيحة على النقيض من أناكزاجوراس.

إحصائيات مهمة

يمكن قياس المسافات بين الأجسام الفلكية، بما فى ذلك القمر وأقرب الكواكب، باستخدام نفس التقنية الأساسية التى حاول أناكزاجوراس استخدامها لتحديد المسافة بين الأرض والشمس، وهى الاستعانة بعلم حساب المثلثات. وهى بعينها التقنية التى يستخدمها المسّاحون ورسماء الخرائط هنا على كوكب الأرض. إذا أردنا معرفة المسافة إلى معلم من المعالم، مثل جبل عالٍ، قد يصعب الانتقال إليه، يمكننا ببساطة قياس خط قاعدى دقيق، ونضع أدوات المساحة عند نهايتى الخط ونضبط هذه الأجهزة نحو هذا المعلم. وبقياس الزاوية عند نهايتى الخط القاعدى إلى المعلم، يمكننا حساب طول أضلاع المثلث الخيالى الممتد من الخط القاعدى بحيث يكون المعلم عند قمته. وكلما بعد الشيء، احتاجت عملية القياس بالطبع إلى دقة أكبر ومهارة أعلى. لكن الشمس بعيدة جداً بحيث يصعب استخدام هذه التقنية. إن الفرق بين الزاوية المقاسة عند نهايتى الخط القاعدى يكون صغيراً جداً، بحيث يصعب رصده، لكن تم استخدام هذه التقنية لإثبات أن المسافة بين القمر والأرض تساوى ستين ضعف نصف قطر الأرض.

لقد أعطت تقنيات هندسية مماثلة التقديرات الأولية للمسافات إلى أقرب الكواكب للأرض، الزهرة والمريخ، وفى النصف الثانى من القرن العشرين، تطورت هذه القياسات باستخدام ارتداد الإشارات الرادارية من هذه الكواكب وحساب المسافات على أساس الوقت الذى تستغرقه الإشارة اللاسلكية التى تنتقل بسرعة الضوء، لاجتياز المسافة بين الأرض وهذه الكواكب والعودة مرة أخرى إلى الأرض. وقياس المسافة بين الأرض والزهرة هو القياس الرئيس، لأن الزهرة تدور حول الشمس داخل مدار دوران الأرض حول الشمس. وبما أن المدارات مائلة قليلاً، فإننا لا نرى كوكب الزهرة فى كل مرة يمر فيها أمام وجه الشمس. لكن يمكن استخدام الحالات النادرة التى يُشاهد فيها كوكب

الزهرة من الأرض وهو يمر أمام وجه الشمس، للحصول على قياس للمسافة التي تفصل الأرض عن الشمس.

وتعتمد هذه التقنية على القيام بعمليات رصد متزامنة (أو التقاط صور فوتوغرافية متزامنة) من مرصدين يبعدان عن بعضهما البعض مسافة كبيرة؛ حيث يرصد كل مراقب البقعة السوداء التي تحدثها الزهرة عند مرورها عبر قرص الشمس. ولأن المرصدين يفحصان كوكب الزهرة المار عبر الشمس من زوايا مختلفة، فإنهما سيلاحظان صورة الكوكب على أجزاء مختلفة من الخلفية الشمسية، نتيجة لتأثير ظاهرة التغير الظاهري Parallax effect في موقع الجرم السماوي المنظور نتيجة اختلاف موقع الناظر (شكل ٢ - ١). إن هذا التأثير متضخم بشكل كبير هنا، لكن يمكنك أن ترى هذه الظاهرة بنفسك بأن تعرض إحدى أصابعك على امتداد ذراعك أمام خلفية مميزة، وعندئذ أغمض عينيك بالتناوب وراقب الإصبع وهي تتحرك عبر الخلفية. وبشكل خاص، ستكون رؤية لحظة عبور الزهرة لحافة قرص الشمس مختلفة عند رصدها من المرصدين المختلفين. وبمجرد أن تكون المسافة التي تفصل الأرض عن الزهرة معروفة، وكذلك المسافة بين المرصدين، يمكن مباشرة حساب المسافة بين أي من المرصدين والشمس.

كل ذلك ومشاهدات أخرى تعطي النتيجة نفسها. إن المسافة المتوسطة بين الشمس والأرض هي ١٤٩,٥٩٧,٨٩٣ كيلومتراً («متوسطة» لأنها تختلف قليلاً أثناء السنة). وبشكل تقريبي، دقيق بما يكفي احتياجاتنا في هذا الكتاب، يمكننا القول إن المسافة ١٥٠ مليون كيلومتر أو ٩٣ مليون ميل. ويعتبر علماء الفلك أن هذه المسافة «مقياس أساسي» للمسافة بحيث يسمونه الوحدة الفلكية، أو (Astronomical Unit (AU)، وتقاس بها المسافات إلى النجوم الأخرى.

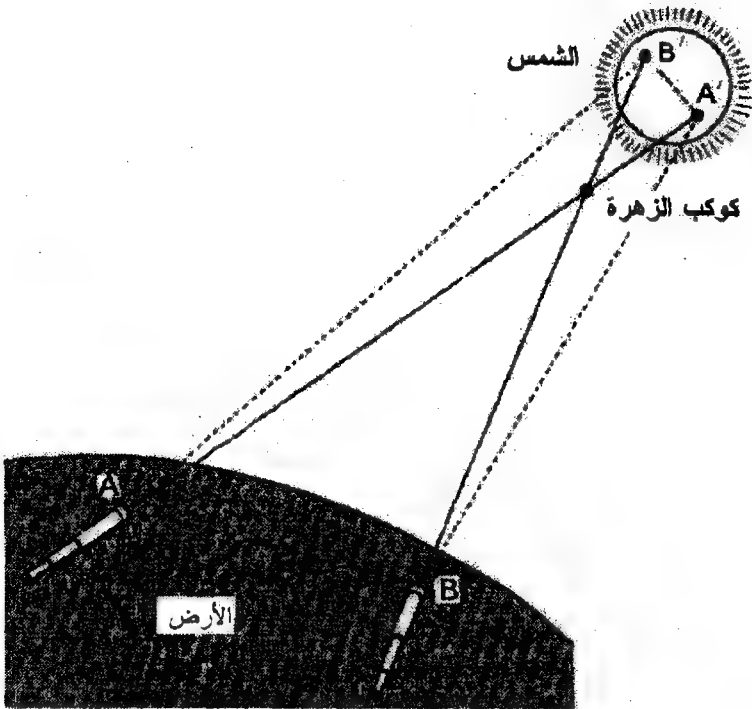
كيف يمكن تقريب مثل هذه المسافة للأذهان؟ إن الضوء، الذي ينتقل بسرعة ٣٠٠ ألف كيلو متر في الثانية، يستغرق ثمانى دقائق وعشرين ثانية لينتقل من الشمس إلى الأرض. لكن سرعة الضوء ذاتها كبيرة جداً بحيث يصعب أن تكون مألوفاً لنا. إن أسرع شيء يصادفه أى شخص عادى هو الطائرة، التي تطير بسرعة ٨٠٠ كيلومتر في الساعة (*). ويمكنك، كراكب داخل هذه الطائرة، عبور المحيط الأطلنطى في ساعات

(*) هناك الآن طائرات تخترق حاجز الصوت في سرعة طيرانها أى تزيد سرعتها على ٧٤١ ميلاً/ساعة أو ١٢٥٥ كم/ساعة تقريباً. (المراجع).

قليلة أو الانتقال من نيويورك إلى سيدنى فى أكثر من يوم بقليل. لكن لو كان للطائرة أن تتابع طيرانها لمسافة تساوى المسافة بين الأرض والشمس، فإنها ستستمر فى الطيران لمدة ٢١ سنة بدون توقف(*) .

إن الفضاء شاسع حقاً، وكذلك الشمس. وإذا كانت الشمس على هذه الدرجة من البعد، فمن البدهى أن تكون أكبر بكثير من أن يكون قطرها ٢٥ ميلاً كما افترض أناكزاجوراس عندما اعتقد أن الشمس تبعد أربعة آلاف ميل فوق الأرض. وإذا كان قرص الشمس الذى نراه يبعد مسافة ١٥٠ مليون كيلومتر، فإن الشمس لن يقل قطرها بحال عن مليون وثلاثمائة وتسعين ألف وخمسمائة كيلومتر، أى ١٠٩ أضعاف قطر الأرض. إننا نعلم الآن حجم الشمس وبعدها عن الأرض، فما مقدار ما تحتويه من

مادة؟



شكل (٣ - ١) المراقبون فى أماكن مختلفة على الأرض يرون كوكب الزهرة على أجزاء مختلفة من وجه الشمس، والفرق يساعدهم لحساب المسافة بين الأرض والشمس.

(*) وذلك بإسقاط حسابات الجاذبية ومتغيرات الضغط الجوى والحرارة والأكسجين ... إلخ من الحسبان. (المراجع)

يُعتبر الحجم أحد طرق قياس كمية المادة. والشمس أكبر من الأرض مليون مرة نظراً لأن قطرها أكبر بما يزيد مائة مرة على قطر الأرض، بمعنى أن كرة بحجم الشمس يمكن أن تسع مليون كرة بحجم الأرض. وذلك لأن الحجم عبارة عن مكعب القطر، ومكعب المائة هو مليون، والمسافة من مركز الشمس إلى سطحها هي ضعف المسافة تقريباً بين الأرض والقمر، وبينما نجد أن مائة أرض مصفوفة جنباً إلى جنب ستمتد هب الشمس، فالمسافة بين الشمس والأرض توازي مائة شمس مصفوفة جنباً إلى جنب. لكن كل ذلك لا يفيد في حساب كم ما تحتويه الشمس من مادة.

إن كمية المادة التي تحتويها الشمس هي التي تحدد شدة الجذب التي تمارسها قوة الجاذبية التي تشد وتمسك بالكواكب في مداراتها حولها. لقد اكتشف إسحق نيوتن قانون الجاذبية، الذي يستند على القاعدة التي تقول: تتوقف القوة التي تجذب جسمين معاً على كتلة الجسمين، ولحساب هذه القوة يتم قسمة حاصل ضرب الكتلتين على مربع المسافة بينهما، ثم ضرب الناتج في ثابت قوة الجاذبية G . وفي القرن الثامن عشر، قام هنري كافنديش (Henry Cavendish) بمجموعة من القياسات التي تحتاج إلى مثابرة وجهد، واستخدم في ذلك كتلاً كبيرة وصغيرة، وحصل في النهاية على قيمة الثابت G . وبمجرد معرفة قيمة هذا الثابت أصبح من السهل حساب كتلة الأرض، وذلك بقياس القوة التي تجذب بها الأرض أي جسم. وهو ما يُعرف بوزن هذا الجسم. والمسافة الموجودة في المعادلة هي ببساطة المسافة إلى مركز الأرض، أي نصف قطر الأرض، الذي بين إراتوستينس لنا كيفية قياسه. وبالتالي تكون كتلة كوكب الأرض التي تم حسابها حوالي 6×10^{27} جرام. ومن ثم تكون الكثافة المتوسطة للأرض ٥,٥ ضعف كثافة الماء.

ومع تحديد كتلة كوكب الأرض، عرف علماء الفلك مباشرة كتلة الشمس. فالأرض تدور حول الشمس دورة كاملة مرة كل عام، على مسافة ١٥٠ مليون كيلومتر، وبالتالي يعرف العلماء السرعة التي يجب أن تتحرك بها في مدارها. والقوة المطلوبة لجعل الكوكب مستمراً في مداره معروفة من الفيزياء الأساسية. وسواء أكان الكوكب مستقراً في مكانه بواسطة خيط طويل مربوط في مركز النظام الشمسي أم بواسطة قوة جاذبية الشمس، فلا بد أن تكون القوة واحدة. ومن كتلة الأرض المعروفة والمسافة بينها وبين الشمس، تكون الطريقة الوحيدة للحصول على قوة الجاذبية الصحيحة هي أن تكون

كتلة الشمس نفسها أصغر قليلاً من 2×10^{33} جرام. ومعنى ذلك أن كتلة الشمس تساوى ثلث مليون ضعف كتلة الأرض وتشغل ما يعادل حجم مليون أرض. ولكن الكثافة المتوسطة للشمس ثلث الكثافة المتوسطة للأرض، فهي حوالى ١,٥ كثافة الماء. قد لا يبدو الرقم مثيراً، لكن تذكر أنها كثافة «متوسطة». فبالرغم من أن الطبقات الخارجية للشمس تتكون - كما سنرى - من طبقات غير كثيفة من الغاز، فإننا كلما توغلنا بعمق فى قلب الشمس تتعزز الكثافة والضغط والحرارة بشكل مثير. لكننا نحتاج أولاً إلى تصور كمية الحرارة التى تشعها الشمس على سطحها.

لن أتناول كل التفاصيل التاريخية هنا، لأن هناك مثلاً بسيطاً وجميلاً لقوة إشعاع الشمس قدمه عالم الفلك هيربرت فريدمان (Herbert Friedman) فى كتابه «الشمس والأرض». حيث يشير إلى أن سى. آيه. يانج (C.A. Yang)، من جامعة برينستون، اعتاد أن يبدأ الحديث مع طلابه بالملاحظة التى ذكرها وليم هرشل (William Herschel) فى نهاية القرن الثامن عشر، وهى أن بإمكان حرارة شمس الصيف وقت الظهيرة أن تصهر طبقة من الجليد سمكها بوصة واحدة فى مدة ساعتين واثنى عشرة دقيقة.

لا يبدو ذلك مثيراً حقيقة إلا عندما تدرك أن الشمس تصب أشعتها بشكل متساو فى جميع الاتجاهات. وبالتالي إذا كانت هناك طاقة تكفى لصهر قطعة جليد سمكها بوصة بهذه السرعة عند النقطة التى تستقبل فيها الأرض أثناء دورانها ضوء الشمس، فلا بد أيضاً أن تعبر كمية الطاقة نفسها كل سنتيمتر مربع من الفضاء عند المسافة نفسها من الشمس. بمعنى آخر، هناك كمية كافية من الطاقة تنصب من الشمس لصهر غلاف كامل من الجليد سمكه بوصة واحدة وقطره ٣٠٠ مليون كيلومتر خلال ساعتين واثنى عشرة دقيقة. واعتاد يانج أن يطلب من طلابه أن يتخيلوا انكماش قطر هذا الغلاف الجليدى، مقترباً من الشمس بحيث تقل مساحته تدريجياً، ويزداد سمكه فى الوقت نفسه بحيث يتضمن دائماً كمية الجليد الإجمالية نفسها. وعندما يلمس السطح الداخلى لهذا الغلاف الجليدى الخيالى سطح الشمس يكون سمكه أكثر من ميل، ولكن سيظل ينصهر فى الفترة الزمنية نفسها تماماً.

إن درجة حرارة سطح الشمس، الكافية للقيام بهذا الإنجاز هى ٥٧٧٠ كلفن (*). يمكننا الآن قياس كمية الحرارة التى تصل لكل سنتيمتر مربع من سطح كوكب الأرض

(*) الكلفن وحدة قياس درجات الحرارة المطلقة حيث يساوى الصفر المطلق - ٢٧٣°م.

(أو التي تدفئ فعلاً أجهزة الرصد على متن الأقمار الصناعية في الفضاء الخارجي)، مع أخذ المسافة إلى الشمس في الاعتبار. هناك أيضاً طريقة أخرى لقياس درجة حرارة جسم ساخن، وذلك من خلال لونه، فكما أن قطعة حديد شديدة الاتقاد حتى الابيضاض تكون أكثر سخونة من قطعة حديد متوهجة حتى الاحمرار، فالنجم الأزرق أو الأبيض أكثر سخونة من النجم الأصفر أو البرتقالي. إن العلاقة بين درجة الحرارة واللون تخضع لقانون دقيق، تمت دراسته تفصيلاً في تجارب معملية، بحيث يمكن تحديد هذه العلاقة كميًا. والرقم الذي انتهينا إليه هو نفسه - درجة حرارة نجم مصفر مثل شمسنا تكون حوالى ستة آلاف كلفن.

ولا يمثل ذلك حقاً رقماً لافئاً للنظر بشكل خاص، إذ إن الفتيل المتوهج للمصباح الكهربائي يعمل عند حوالى ألف كلفن، ورغم أن «سطح» الشمس أسخن قليلاً من الحديد المتوهج، فإن درجة حرارته يسهل إدراكها حتى بالنسبة لأكزاجوراس. لقد ظهرت المشكلة في القرن التاسع عشر، عندما بدأ علماء الجيولوجيا والبيولوجيا المؤمنون بنظرية التطور تقدير العمر الأقصى للأرض، وأشاروا إلى أن الشمس لا بد قد استمرت تشع هذا الضياء لعدة مئات وربما آلاف ملايين السنين.

وطرح ذلك بالنسبة للعلم مشكلة كبرى، لأن علماء الفيزياء بدعوا في الوقت نفسه في النظر في قوانين الديناميكا الحرارية وبقاء الطاقة التي تضع حدوداً شديدة الصرامة بالنسبة للفترة الزمنية التي تستطيع فيها الشمس الحفاظ على إنتاجها من الطاقة عند المستوى الحالي. كانت كل القوانين الفيزيائية المعروفة في القرن التاسع عشر، غير كافية لتفسير تمكن الشمس من الحفاظ على حرارتها طوال تلك الفترة الطويلة التي افترضها علماء الجيولوجيا والبيولوجيا. هل كان هؤلاء العلماء على خطأ؟ أم كان فهم الفيزياء هو الناقص؟ وكان أحد أعظم علماء ذلك الوقت مقتنعاً بأنه إذا كان هناك من يتعين عليه أن يتراجع ويعلن خطأه، فلن تكون قوانين الفيزياء بالطبع، وقاد هجومًا شرساً ضد أى شخص يتجرأ على اقتراح نقيض ذلك. غير أنه كان لا مفر من أخذ الأدلة الجيولوجية بجديّة، لما لها من وزن.

الجماعة الفرنسية

في القرن الثامن عشر، كان القول بأن الأرض خلقت منذ حوالى ستة آلاف عام أمراً مقبولاً على نطاق عريض. ففي عام ١٦٥٤، أدخل جون لايتفوت (John Lightfoot)

تحسينات على عملية حسابية شهيرة سبق أن قام بها يوشر (Ussher) رئيس الأساقفة فى بداية القرن السابع عشر. وقد حددت هذه التحسينات أن لحظة الخلق حدثت فى الساعة التاسعة صباحاً بتوقيت ما بين النهرين يوم ٢٦ من أكتوبر، عام ٤٠٠٤ قبل الميلاد حسب تقويم جوليان. ولم يعتمد هذا التقدير على أية قاعدة علمية فى مجال الحساب أو الرصد والمشاهدة، وإنما تم التوصل إليه بالعد التنازلى للأجيال المشار إليها فى التوراة، ابتداء من المسيح عودة إلى آدم. الآن، يقبل رجال الكهنوت ألا تؤخذ التوراة حرفياً لهذه الدرجة، وأن الأرض والشمس والكون ككل وُجدَ منذ حقبة كبيرة من الوقت أكبر مما كان أسلافنا يمكنهم تخيلها. إن أول محاولة لمد المقياس الزمنى، وأول تقدير علمى لعمر الأرض، دفع هذا العمر ليصل إلى ٧٥ ألف عام، وهو أقل بكثير عن الرقم المحسوب الآن. غير أن هذا التقدير زاد عمر الأرض عشرة أضعاف، وتحدى العقيدة الدينية الراسخة، كما فعل أناكزاجوراس من قبل عندما رفض تلك العقيدة فى تناوله لقضية طبيعة الشمس. لكن جورج - لويس لكليرك (Georges - Louis Leclerc)، كُونت دى بوفون (de Buffon)، الذى أجرى هذا الحساب، لم يلق مصير أناكزاجوراس، واستغرقت البذرة التى زرعها وقتاً أقل لتؤتى ثمارها.

وُلد لكليرك أو كونت دى بوفون فى عام ١٧٠٧ فى مونتبارد، ببورجندى، لأحد رجال القضاء. وفى منتصف العشرينيات من عمره، ورث لقبه ومعه أملاك. وحصل على تعليم جيد، حيث درس فى بادئ الأمر القانون ثم الرياضيات والعلوم. وفى أنجرز انقطع عن دراسته الرسمية عندما اضطر إلى مغادرة البلاد إثر مبارزة، وانتقل فى بداية الثلاثينيات من القرن الثامن عشر إلى إيطاليا ثم إنجلترا. وعندما توفيت والدته وآلت إليه التركة عاد إلى وطنه واستقر هناك. وأصبح الكونت دى بوفون، واشتهر بأنه العالم النبيل - كان ثرياً بما يكفى للبحث فيما يثير اهتمامه من مجالات، ولكنه كان جاداً أيضاً وقادراً على تقديم إسهامات قيمة للمعرفة. بعد أن أجرى بوفون بعض الأبحاث المهمة عن قوة خشب الأشجار - وكانت مادة لها قيمة عسكرية كبيرة فى تلك الأيام - استخدم وزير البحرية نفوذه، لما سُرَّ بهذه الأبحاث، لكى يصبح بوفون، فى عام ١٧٣٩، مسئولاً عن الحديقة الملكية فى باريس. وتولى إدارة الحقائق النباتية، والمتحف المرفق بها، لفترة نصف قرن تقريباً، ضاعف فيها المساحة المزروعة وحصل على العديد من الأنواع الجديدة.

إن إنتاج بوفون العظيم هو كتاب «التاريخ الطبيعى»، الذى بدأ ككتالوج لمتحف الملك، ثم تطور إلى محاولة لوصف كل العالم الطبيعى. وكان مخططاً لهذا الكتاب أن يكون فى خمسين مجلداً، لكن العمر لم يسعفه لتحقيق ذلك حيث توفى فى عام ١٧٨٨ بعد أن أتم ٣٦ مجلداً منها فقط. غير أن ما أنجزه ترك بصمة على عالم العلم فى القرن الثامن عشر.

وأغلب أعمال بوفون ليس له صلة مباشرة بلغز طبيعة الشمس، لكنه انشغل ضمن اهتماماته الكثيرة بتحديد عمر الأرض. لم يكن بوفون مقتنعاً بأن حرارة الشمس تكفى للمحافظة على دفء الأرض، وافترض وجود حرارة تنبعث من داخل الأرض فتوفر الظروف المناسبة للحياة. ولما لم يكن يعرف طريقة لتوليد الحرارة داخل الأرض، فقد افترض أن الأرض نشأت عن كرة منصهرة من الصخور، وأنها تبرد بالتدريج منذ ذلك الوقت. وأن هذه الأرض البدائية، المنصهرة، انفصلت عن الشمس بفعل اصطدامها مع نيزك ماراً، لكن كم من الوقت استغرقت عملية تبريد الأرض لتصل إلى حالتها الحالية؟

كان نيوتن قد أشار فى كتابه «المبادئ الأساسية» (Principia)، إلى أن كرة من الحديد المتوهج بحجم الأرض قد تستغرق خمسين ألف عام حتى تبرد. وقد قام بوفون فعلاً بتجارب على كرات من الحديد ومواد أخرى بأحجام مختلفة، ورصد الزمن الذى تستغرقه كل منها لى تبرد من درجة التوهج. ومسلحاً بهذه المعلومات، وبالمعرفة الدقيقة التى كانت لدى العلماء عن حجم الأرض، أدخل بوفون تحسينات على حسابات نيوتن، مفترضاً أنه إذا كانت الأرض قد ولدت فى حالة منصهرة فإنها استغرقت ٣٦ ألف عام حتى تبرد إلى درجة تسمح بظهور الحياة عليها، واستغرقت ٣٩ ألف عام أخرى (٧٥ ألف عام إجمالاً) حتى تبرد إلى درجة حرارتها الحالية.

وهاجم رجال الكنيسة فى ذلك الوقت بالطبع هذه الزيادة الكبيرة فى المقياس الزمنى لتاريخ الأرض. لكن، بوفون، على الأقل، لم يتم نفيه، وظل تأثير أفكاره ممتداً حتى بعد وفاته وعبر القرن التاسع عشر، بالرغم من تناقضها التام مع المعتقدات الدينية.

كان الخط المباشر لتأثير بوفون على الأجيال التى تلت من العلماء من خلال جان فورييه (Jean Fourier)، الذى ارتبط اسمه بتطويره لأداة رياضية تُعرف باسم سلسلة فورييه، والتى تطورت بعد ذلك لتصبح تحليل فورييه (أو التحليل التوافقى). فى الواقع،

كان فوربييه، الذى ولد عام ١٧٦٨ فى أوكزير، عالم فيزياء فى البداية، وطور رياضياته كوسيلة لغاية، لكى يتمكن من أن يحل بدقة قضايا فيزيائية مهمة(*)، حيث كان مفتوناً، بشكل خاص، بقضية توفير وسائل دقيقة لحساب الطريقة التى تنتقل بها الحرارة خلال الأجسام. إن الاهتمام الذى أولاهُ بوفون لعمر الأرض قاد فوربييه فى دراسته للتوصيل الحرارى، والرياضيات التى يحتاجها لوصف العملية. كان بوفون قد توقف عند قياس المعدل الذى تبرد به الأجسام الساخنة، وحاول أن يقدر استقرائياً هذا المعدل بالنسبة لجسم فى حجم الأرض. ومن جهة أخرى، حاول فوربييه تطوير القوانين - المعادلات الرياضية - لوصف المعدل الذى يمكن أن تتسرب به الحرارة من جسم ما، واستخدم هذه المعادلات لحساب الوقت الذى يمكن أن تكون الأرض قد استغرقت حتى تبرد. فى ظل هذا التصور، فإن الأرض وإن كانت أبعد فى الخارج فإنها تظل عند درجة انصهار الصخور فى مركزها، حتى فى عصرنا (وهو ما يعنى درجة حرارة أعلى من ستة آلاف كلفن، أى أعلى من درجة الحرارة عند «سطح» الشمس حالياً). وطبقاً لهذه التقديرات، فإن هناك انخفاضاً مُطَّرداً فى درجة الحرارة - ممال(**) حرارى - من الداخل إلى الخارج، وتدفق حرارى مستمر نحو الخارج. ولأن طبقات المادة الأقل حرارة التى تحيط بالقلب الساخن تعمل كطبقة عازلة وتحتفظ بالحرارة فى الداخل، فإن الأرض تستغرق وقتاً طويلاً لكى تبرد، وهو ما أدركه بوفون من قبل. وفى عام ١٨٢٠، كتب فوربييه معادلة لعمر الأرض تعتمد على هذه الحجج، لكنه لم يسجل الرقم الناتج عن هذه المعادلة. ولعله اعتبر القيمة التى استنتجها لعمر الأرض كبيرة جداً بحيث يصعب أخذها على محمل الجد - فبدلاً من عمر الأرض الذى توصل إليه بوفون، وهو ٧٥ «الف» عام، أفضت معادلات فوربييه إلى أن عمر الأرض مائة «مليون» عام.

ولم يُحدث هذا الرقم ضجة مباشرة، لأنه ببساطة لم يُنشر. ومات فوربييه عام ١٨٣٠، فكان لا بد من مرور ثلاثين عاماً أخرى قبل أن يتم إجراء الحسابات نفسها

(*) كان فوربييه أصلاً عالم فيزياء، ومن النشاط سياسياً أيضاً فى زمن الثورة الفرنسية. وقد صاحب نابليون فى حملته إلى مصر، وكان مسئولاً عن إصدار كتاب «وصف مصر» الذى يقع فى ٢١ مجلداً وكان أشهر نتاج لهذه الحملة. ولقد أسس هذا الكتاب «علم المصريات» كفرع للدراسة. وعندما عاد إلى فرنسا عُين حاكماً لإقليم الرون، ومنحه نابليون لقب بارون ثم كونت، لكن ذلك لم يمنعه من الاستقالة من مناصبه فى أواخر عهد نابليون احتجاجاً على تجاوزات النظام. وكان يمارس أبحاثه العلمية كهواية، فى وقت فراغه، بما فى ذلك أول إشارة علمية لما نعرفه حالياً بتأثير الصوبة.

(**) نسبة الزيادة أو النقص فى الحرارة، أو المنحنى الذى يمثلها.

والترويج لها على نطاق عريض باعتبارها توضح العمر الحقيقي للأرض. لكن سرعان ما أوضح وليم طومسون(*)، المتحمس لهذا المقياس الزمني، أن مائة مليون عام هي مقياس زمني «قصير» لدرجة أنها تسبب إحراجاً لعلماء الجيولوجيا والعلماء المؤمنين بنظرية التطور.

المقياس الزمني الجيولوجي

أحد أهم المعتقدات الأساسية لعلم الجيولوجيا الحديث فكرة أن العمليات التي نراها تتم حالياً على كوكب الأرض - مثل عوامل التعرية والنشاط البركاني والزلازل... إلخ - تكفي وحدها لتفسير كيف وصل العالم إلى حالته الراهنة، بشريطة توافر وقت كاف لقوى الرياح والطقس والقوى الباقية، للقيام بعملها. إن هذا المفهوم يبدو لنا طبيعياً كما بدأ مفهوم الأرض المسطحة طبيعياً لأننا كزاجوراس، وقد يمر بدون تعليق كجزء من مقدمة تمهيدية لعلم الجيوفيزياء. لكن هذه الفكرة «المسلم بها» لم تظهر على السطح إلا في نهاية القرن الثامن عشر، عندما أبرزها العالم الاسكتلندي جيمس هيوتن (James Hutton)(**)، أحد معاصري بوفون، وأصبحت حقيقة راسخة من حقائق الحياة العلمية في القرن التاسع عشر فقط، وذلك بعد جدل عنيف بين فريق من العلماء يؤمن بالنظرية القائلة بأن التغيرات الجيولوجية في تاريخ الأرض سببتها عمليات لاتزال نشطة حتى الآن وليس بسبب كوارث طبيعية، وإن الأرض كانت دائماً مثلما هي الآن تقريباً - وبين فريق آخر من العلماء يرى أن التغيرات الجيولوجية الكبرى للأرض والسماوات المثيرة مثل سلاسل الجبال وأحواض المحيطات لا يمكن لها أن تتكون إلا أثناء حقبة من الثوران والاضطراب العنيف والمفاجئ، عندما كانت الأرض في قبضة قوى مدمرة غامضة وربما خارقة للطبيعة، وليس طبقاً لمفهوم التغير التدريجي المنتظم المعترف به حالياً.

وُلد هيوتن عام ١٧٢٦، وكان والده تاجراً، وكانت أسرته تعدّه ليصبح محامياً، لكنه تحول بدلاً من ذلك إلى دراسة الكيمياء. وابتكر مع صديقه جون دافى طريقة لإنتاج كلوريد الأمونيوم، وهي مادة كيميائية ذات قيمة كبيرة في الصناعة، فجنى من هذا

(*) أصبح بعد ذلك اللورد كلفن.

(**) جيمس هيوتن James Hutton (١٧٢٦ - ١٧٩٧) جيولوجي بريطاني ولد في إدنبره. وأهم إنجازاته تأليفه كتاب «نظرية الأرض» A Theory Of The Earth (١٧٩٥)، ويُعد هذا الكتاب أساساً لعلم الجيولوجيا الحديث.

الابتكار قدرًا كافيًا من المال، وبالإضافة إلى ميراث متواضع استطاع أن يقدم نفسه كمزارع وجيه في برويكشير؛ ونجح في الزراعة أيضًا، وأثناء ذلك اهتم بتأثير المياه الجارية على الصخور والتربة، وقام بعدة رحلات إلى أوروبا لدراسة تقنيات الزراعة لكنه اغتنم كل فرصة ممكنة لمعرفة المزيد عن الصخور والمعادن. وفي عام ١٧٦٨، بعد أن أصبح مستقلًا ماديًا، عاد إلى إدنبره، وأمضى بقية عمره في البحث العلمي، ولاسيما الجيولوجيا.

وظهرت أفكار هيوتن الداعية لمفهوم التغيير التدريجي المنتظم لأول مرة مطبوعة في بحث علمي نُشر عام ١٧٨٨، ثم بعد ذلك في كتاب «نظرية الأرض» (Theory of the Earth) عام ١٧٩٥، قبل وفاته بوقت قصير. وبالرغم من أن أفكار هيوتن أثارت رد فعل قوى من جانب بعض النقاد في التسعينيات من القرن الثامن عشر، إلا أن أسلوب هيوتن الصعب في الكتابة حال دون وصول أفكاره للجمهور العريض حتى عام ١٨٠٢، عندما نشر صديقه جون بلاي فير نسخة من الكتاب، بعد إعادة تحريره، تحت عنوان: «توضيح لنظرية هيوتن» (Illustration of the Huttonian Theory). وعندئذ فقط بدأ التعامل مع الفكرة بجدية، وانقسم علماء الجيولوجيا إلى معسكرين، ما بين مؤيد ومعارض.

لقد اعترف العلماء بالنظرية القائلة بالتغيير التدريجي لكوكب الأرض بحيث لم تعد هناك حاجة لمزيد من الحديث عن هذه النقطة، لكن تجدر الإشارة إلى أن هيوتن كان أول من أشار مثلاً إلى أنه يمكن تفسير حرارة الأرض، بدون تدخل أية قوة خارقة، كما أوضح أيضاً كيف يمكن أن تنصهر الصخور الرسوبية، التي رسبتها المياه، لتصبح جرانيت وحجر صوان. وكان أول من قال بأن الحرارة في قلب الأرض هي المستولة عن دفع سلاسل الجبال إلى أعلى، وإلتواء الطبقات الجيولوجية، لكن ذلك استغرق في حدوثه وقتاً طويلاً، وهو ما أدركه هيوتن.

ربما كان أسلوبه في الكتابة صعب الفهم، لكن هيوتن أثبت أن قوى التعرية تعمل ببطء شديد حتى في عصرنا، واستشهد على ذلك بمثال واضح تماماً وهو أن الطرق الرومانية لا تزال مرئية حتى بعد مرور أكثر من ألفي عام على شقها. ومن ثم، فإن هذه العمليات البطيئة التي تعمل على تشكيل ونحت وجه الأرض لتصبح في شكلها الحديث تتطلب وقتاً أطول بكثير من الزمن الذي حددته التوراة وهو ستة آلاف عام. وكتب

هيوتن عن عمر الأرض: «لا يوجد أى أثر لبداية. ولا أى احتمال أو إمكانية لنهاية»، فهو يعتبر مسألة عمر الأرض تتجاوز نطاق الفهم.

وفي القرن التاسع عشر، طور عالم اسكتلندي آخر، هو تشارلز ليل (Charles Lyell)، الفكرة هيوتن الرائدة. وقد ولد ليل فى عام ١٧٩٧؛ فى العام نفسه الذى تُوْفِّي فيه هيوتن. وكانت أسرة ليل ترغب أيضاً فى توجيهه إلى مهنة المحاماة، مثل أسرة هيوتن، وفى عام ١٨٢٥، أصبح محامياً بالفعل لكن اهتمامه بالعلم، وخاصة الجيولوجيا، كان كغياًلاً بصرفه عن المحاماة تماماً كهيوتن. وفى أواخر العشرينيات من القرن التاسع عشر، استطاع ليل القيام برحلات مكثفه عبر القارة الأوروبية. وكان أبوه ثرياً بما يتيح له ذلك. وفى كل مكان ذهب تشارلز إليه وجد دليلاً على الكيفية التى تمكنت بها القوى الطبيعية من تشكيل معالم الأرض. ووجد فى المنطقة التى تحيط بجبل أتنا، بشكل خاص، دليلاً مؤكداً على ما كان يؤمن به من أفكار. وظهرت ثمار رحلات ليل فى ثلاثة مجلدات، هى: «مبادئ الجيولوجيا». وقد صدر المجلد الأول فى عام ١٨٣٠، والمجلد الثانى فى عام ١٨٣١ والثالث فى عام ١٨٣٣. ويصف العنوان الفرعى للمجلد الأول هذا العمل بعبارة وجيزة: «هو محاولة لتفسير التغيرات السابقة التى حدثت لسطح الأرض بالرجوع إلى أسباب لازالت تعمل حتى الآن».

وقد أثارت كتب ليل ضجة مباشرة، وأحدثت تأثيراً كبيراً على شاب متخصص فى مجال التاريخ الطبيعى هو شارلز داروين (Charles Darwin)، الذى كان قد بدأ لتوّه رحلة على متن السفينة الملكية «بيجل». وأخذ داروين المجلد الأول معه، ووصله المجلد الثانى أثناء الرحلة، فى حين كان المجلد الثالث فى انتظاره عند عودته إلى الوطن عام ١٨٣٦. ولم يكف داروين أبداً عن الاعتراف بفضل ليل عليه، فهو الذى بين له أن الأرض قديمة جد Wh بالفعل، وأن كل ما كان مطلوباً لتفسير مظهرها الحالى هو مجموعة القوى نفسها التى نراها تعمل حالياً. وطبق ليل هذه النظرية على الصخور فى حين طبقها داروين، بنجاح مماثل، على الكائنات الحية. إن التطور بالانتخاب الطبيعى يتطلب، قبل أى شئ آخر، مقياساً زمنياً طويلاً ليؤدى عمله، وكان ليل هو الذى أهدي داروين هذا المقياس الزمنى.

وارتبط العالمان بعد ذلك بصداقة حميمة، بالرغم من أن ليل كان بطيئاً فى الاقتناع بفكرة النشوء والارتقاء. لكن بعد أن صدر كتاب «أصل الأنواع» (Origin of Species)

فى عام ١٨٥٩، بدأ ليل يقتنع تدريجياً بطرح داروين وأدلته، ومنحه تأييده مكتوباً فى طبعة كبرى جديدة لكتابه «مبادئ الجيولوجيا»، صدرت عام ١٨٦٥. وكان ذلك يعنى الكثير بالنسبة لداروين، لأن ليل كان فى ذلك الوقت يحمل لقب فارس وتربطه علاقات صداقة مع الأسرة المالكة وكبار السياسيين، فضلاً عن حصوله على العديد من الأوسمة العلمية، كما كان معروفاً بشكل واسع للجمهور العريض. ولذلك كان وقوفه إلى جانب داروين له وزنه حيث كانت المعارضة شرسة لأفكار داروين، ولقد نجح بذلك فى إقناع العديد من الناس أن هناك بالضرورة شيئاً، فى نهاية الأمر، فى قضية النشوء تلك.

وكان داروين سعيداً بموقف صديقه وعلق قائلاً: «أعتقد أن ما قام به ليل عمل بطولى، نظراً لسنّه، وآرائه السابقة، ومكانته فى المجتمع».

ومع ذلك، فلقد تعرض كل من داروين وليل لهجوم عنيف، ليس من قبل الأصوليين الدينيين ولكن من علماء الفيزياء الذين كانوا يقولون إنه لا توجد عمليات طبيعية معروفة يمكنها توفير الظروف المناسبة للحياة على الأرض لفترة طويلة تكفى لقيام العمليات الجيولوجية بتشكيل الكوكب، أو حدوث التطور بإنتاج تنوع الحياة الذى نراه الآن، ولم يكن هناك رد واضح وجلى على هذا النقد، الذى كان يتعين أخذه مأخذ الجد. وبدا الأمر وكأن علمى الأحياء والجيولوجيا يثبتان للعلماء معاً أن الأرض والشمس أقدم بكثير عما هو ممكن فيزيائياً.

الديناميكا الحرارية للشمس

أصبح بحث فورييه فى الرياضيات عن كيفية تدفق الحرارة من مكان إلى آخر أحد أكبر الإنجازات العلمية فى القرن التاسع عشر، وهو علم الديناميكا الحرارية. لقد أدى التحقق من أن الطاقة الحرارية تكافئ تماماً الطاقة الميكانيكية (الشغل)، وأن الحرارة لا تتدفق إلا فى اتجاه واحد، من الأجسام الأعلى حرارة إلى الأجسام الأدنى حرارة، وليس بالعكس (القانون الثانى للديناميكا الحرارية)، وأن كمية القصور الحرارى (الإنتروبيا) (*) فى الكون فى ازدياد مستمر (وتم صياغة ذلك فى شكل رياضى بالغ الدقة)، أدى كل ذلك إلى إحداث ثورة فى العلم، ويمكن علماء الفيزياء من دراسة العديد من الظواهر وتحديد كمياً، وهى ظواهر كان من الصعب تفسيرها قبل ذلك بشكل علمى دقيق،

(*) عامل رياضى يُعتبر مقياساً للطاقة غير المستفادة فى نظام دينامى حرارى.

وكان عمر الشمس والأرض فى ذلك الوقت الظاهرة الطبيعية الأهم التى كان ينبغى على الديناميكا الحرارية بحثها(*)).

فى العقود التى تلت وفاة فورييه، بدأت بعض المفاهيم الجديدة تنتشر ببطء، مثل إمكانية تقدير مصدر الطاقة والحرارة كميًا، وإن الطاقة مصدر محدود ولو كانت طاقة الشمس. وبدأت قلة من العلماء تشعر بالقلق على الطاقة التى تسرف الشمس فى إهدارها فى الفضاء، وتتساءل عن مصدر هذه الطاقة وإلى متى سيستمر هذا المخزون. وفى تلك الأيام، كان تفكير أى شخص فى هذه المشكلات ينبع من مفهوم الطاقة الناتجة من احتراق الفحم، وهو المصدر الرئيسى للطاقة التى كانت تدير عجلة الثورة الصناعية. أما حالياً، فيمكننا تحديث هذه الحسابات باتخاذ البديل الحديث للفحم معياراً، أى الجازولين. ولو كانت الشمس تتكون بالكامل من الجازولين، فإن احتراقه بأفضل كفاءة ممكنة لا يمكّنه من المحافظة على درجة حرارتها الحالية إلا لمدة عشرات الآلاف من السنوات فقط. وينطبق الشيء ذاته على أية صورة من صور الاحتراق الكيميائى، حيث تتحرر الطاقة عندما تترايط الذرات معاً فى ترتيبات جزيئية أكثر كفاءة، من منظور الطاقة، عن الترتيبات التى كانت عليها قبل الاحتراق. ولا يستطيع أى شكل من أشكال الطاقة الكيميائية أن يحتفظ بسخونة الشمس أكثر من عشرات الآلاف من السنوات فقط. إن الرسالة تستغرق بعض الوقت لكى تُفهم فهماً جيداً، ولكى يُقدر علماء الفيزياء أهميتها. وكان أول من عالج القضية، كل على حدة، عالمان مغموران إلى حد كبير فى ذلك الوقت، وبالرغم من حصولهما على بعض التقدير اللاحق على أبحاثهما، إلا أن معاملتهما على هذا النحو تجعل من المحتمل تماماً وجود بطل علمى فكّر طبقاً للخط نفسه قبل كل منهما، لكن تم نسيانه تماماً. وعلى أية حال، فإن أول شخص يعتبره الجميع الآن أنه عبر عن قانون بقاء الطاقة الذى ينص على أن الطاقة لا تَفْنَى ولا تُخْلَق من العدم، ولكنها تتحول من صورة إلى أخرى، هو جوليوس ماير (Julius Mayer)، العالم الفيزيائى الألمانى الذى عاش فى هايلبرون.

ولد ماير عام ١٨١٤ فى هايلبرون، ودرس الطب فى جامعة تيبينجن وفى كل من شيينا وپاريس. وفى عام ١٨٤٠، عمل طبيباً على مركب مبحرة إلى جزر الهند الشرقية.

(*) للتعرف على المزيد من النطاق العريض الذى تغطيه الديناميكا الحرارية راجع كتاب «The Omega Point» تأليف جون جريسين وكتاب «The Second Law» تأليف بيتر أتكنز.

وكان قصد المرضى فى تلك الأيام روتيناً طبياً مألوفاً، وعندما قام ماير بفصد أفراد طاقم المركب أثناء إقامتهم فى المناطق الاستوائية، أثار لون دم أوردتهم دهشته، إذ كان أحمر زاهياً. إن ماير القادم من أوروبا قد اعتاد على مظهر مختلف للدم الشريانى والوريدي، لأن الدم الشريانى يحمل كمية كبيرة من الأكسجين من الرئتين إلى العضلات وأنسجة الجسم الأخرى فإن لونه يكون أحمر زاهياً، أما دم الأوردة العائد إلى الرئتين فيكون لونه أغمق بكثير، أى أحمر مائلاً إلى الأرجوانى، نظراً لانخفاض نسبة الأكسجين به. ولذلك عندما فتح ماير وريد أحد البحارة فى جاوة، اعتقد فى بادئ الأمر أنه قطع شرياناً بالخطأ، لأن الدم كان شديد الاحمرار. ولما وجد أنه لم يخطئ، وأن الدم الوريدي لكل البحارة له نفس درجة الاحمرار، أدرك أن ذلك يعنى أن الدم الوريدي فى المناخ الحار يحمل قدراً أكبر من الأكسجين عنه فى المناخ الأبرد؛ نظراً لأن الجسم فى المناخ الأكثر دفئاً يحتاج إلى كمية أقل من الأكسجين للحفاظ على درجة حرارته. وكان ماير على علم بالفكرة الرائدة التى طرحها أنطوان لافوازييه فى القرن الثامن عشر والتى تفيد أن الحيوانات ذوات درجة الحرارة الثابتة تحتفظ بدرجة حرارة أجسامها عن طريق صورة من صور الاحتراق البطيء الذى يحدث داخل الجسم، حيث يتحد الطعام بالأكسجين. بنبوءة حدسية كبيرة توصل ماير إلى الخلاصة التالية: أن الشغل (مثل الجهد العضلى) والحرارة (بما فى ذلك دفء الجسم) والأشكال الأخرى من الطاقة (مثل الطاقة الكيميائية التى تنطلق من أكسدة الطعام، أو من احتراق الفحم) كلها صور قابلة للتبادل فيما بينها، وأن الشغل أو الطاقة لا تُخلق قط ولكنها تتحول فقط من صورة إلى صورة أخرى من الطاقة.

وعاد ماير إلى ألمانيا عام ١٨٤١ واستقر فى هاميلبرون كممارس عام. وكان ناجحاً فى عمله كطبيب لكنه ظل مهتماً بتلك الأفكار الجديدة عن طبيعة الحرارة، كما علّم نفسه الفيزياء وأجرى بعض التجارب، ونشر أول بحث علمى له فى موضوعات مهمة مثل طريقة تحويل الطاقة الميكانيكية إلى حرارة عند ضغط الهواء فى مضخة. وكان يجب أن يصبح البحث الذى قدمه ماير هو حجر الزاوية فى مناقشة مصدر طاقة الشمس، لكنه قوبل بالتجاهل التام تقريباً آنذاك. وعندما اكتشف آخرون نفس الأفكار، كل على حدة، وبدأت تحظى بقدر كبير من الرعاية والتقدير، أصيب ماير بالاكتئاب حتى إنه حاول الانتحار عام ١٨٥٠، وأمضى عدة سنوات فى مصحات عقلية. فسر أن جهده نال اعترافاً بعد ذلك، وتحسنت حالته الصحية ومنح عدة أوسمة قبل وفاته عام ١٨٧٨.

وواجه الرائد الآخر للديناميكا الحرارية للشمس، وهو جون وترستون (John Waterston)، مصيراً أسوأ من مصير ماير. وقد ولد جون وترستون عام ١٨١١ في إدنبره، وكان يدرس في جامعة إدنبره إلى جانب عمله كمهندس مدنى. وبدأ عام ١٨٢٠ نشر أبحاثه العلمية في المجالات البحثية، واستمر نشاطه العلمى بعد انتقاله إلى لندن عام ١٨٢٢ للعمل في قطاع السكك الحديدية الذى كان قطاعاً سريع النمو آنذاك. وفي عام ١٨٢٩، ذهب وترستون إلى الهند حيث عمل مدرساً للطلبة العسكريين في شركة الهند الشرقية، وأتاحت له المدخّرات التى تمكن من جمعها أن يتقاعد في عام ١٨٥٧، وعاد إلى موطنه ليتفرغ للبحث العلمى. لكنه واجه صعوبة مُطردة في نشر أبحاثه؛ مما جعله يشعر بالمرارة وينعزل عن العالم، وفي يوم ١٨ من يونيو ١٨٨٢ غادر منزله بلا رجعة ولم يشاهده أحد بعد ذلك.

وكانت نقطة التحول في حياة وترستون عندما أرسل في عام ١٨٤٥، إلى الجمعية الملكية في لندن، بحثاً أوضح فيه بعض الأفكار الجديدة المهمة عما يُعرف الآن بالنظرية الحركية للغازات. لقد بين وترستون كيف يتم توزيع الطاقة بين الذرات أو الجزيئات في الغاز، وهى خطوة متقدمة ومهمة فيما أصبح فرعاً من فروع العلم بعد ذلك، هو الميكانيكا الإحصائية. وقررت الجمعية الملكية عدم نشر البحث، وذلك بعد استشارة اثنين من الخبراء اللذين لم يقدرا جهود هذا المدرس المجهول الذى يكتب من الطرف الآخر للعالم، وكانت النتيجة أن قبع البحث منسياً بين ملفات الجمعية. وفي ذلك الوقت، قبل ظهور الآلات الكاتبة والناسخة، لم يهتم وترستون بأن يحتفظ لنفسه بنسخة من البحث، ولم يُعدّ كتابته حتى يُنشر في أى مكان آخر. وإن كان قد تم نشر وتداول ملخصات موجزة لأفكاره، وذلك قبل إعادة اكتشاف أفكاره الأساسية الجديدة حول النظرية الحركية بحوالى خمسة عشر عاماً تقريباً، على أيدي باحثين آخرين توصلوا بشكل مستقل للأفكار نفسها وحظيا بكل تقدير. وفي عام ١٨٩١، بعد فوات الأوان بالنسبة لوترستون، عثر اللورد رايلي Rayleigh على بحثه في أقبية الجمعية الملكية، وكان اللورد هو سكرتير الجمعية في ذلك الوقت، فعمل على نشرها في عام ١٨٩٢، وأثبت السبق لوترستون فيما يتعلق بالنظرية الحركية؛ مضيفاً تحذيراً إلى شباب الباحثين من مقاومة الجمعيات العلمية للأفكار الجديدة.

وأثناء الفترة التى أمضاها ووترستون في الهند، ربما في نهاية الأربعينيات من القرن التاسع عشر، طور أفكاره عن الديناميكا الحرارية للشمس، ونال التقدير بعد

تقديمها للجمعية البريطانية فى اجتماع عُقد فى عام ١٨٥٢، حيث نُشرت بعد ذلك بوقت قصير. ومن سخریات القدر أن البحث الوحيد لوترستون الذى لفت أنظار المجتمع العلمى، وإن كان بشكل ثانوى، هو نفس البحث، على الأقل جزئياً، الذى أعده ماير قبل ذلك بسنوات قليلة، وإن كان مجهولاً بالفعل فى ذلك الوقت. لقد أدرك كل من ماير ووترستون أنه مادامت الطاقة الكيميائية لا تكفى للمحافظة على حرارة الشمس لفترة تتجاوز بضع عشرات آلاف السنوات، فإنه يتعين وجود مصدر آخر للطاقة يغذى الشمس، وكان المصدر الآخر الوحيد للطاقة المعروف للعلم فى القرن التاسع عشر والذى يمكنه أن يحفظ للشمس بسخونتها لفترة أطول من الزمن هو طاقة الجاذبية. وطبقاً لقانون بقاء الطاقة، فإن ما كان يحتاجه هو مخزون من الطاقة يمكن السحب منه بشكل مطّرد لملايين السنين وتحويله إلى حرارة. وكان يمكن لطاقة الجاذبية أن تحقق الهدف إذا ما تم اكتشاف وسيلة لتحويلها إلى حرارة.

لقد افترض كل من ماير ووترستون أن بإمكان الشمس أن تظل ساخنة إذا «زوّدت بوقود» بواسطة ذخيرة مستمرة من النيازك التى تسقط عليها من الفضاء. وهو مصدر طاقة ينبع مباشرة من مجال قوة جاذبية الشمس. وكما أدرك نيوتن، فإن النيزك - الذى هو فى الأساس قطعة من الصخر - عندما يسقط نحو الشمس، فإن ذلك يحدث بسبب قوة الجاذبية المتبادلة بين الاثنين. وتتحول طاقة الجاذبية إلى طاقة حركية، طاقة حركة، مع سقوط النيزك بسرعة متزايدة. وعندما تصطدم هذه الصخرة التى تتحرك بسرعة متزايدة بسطح الشمس ثم تتوقف، فإن كل تلك الطاقة ستذهب لا محالة إلى مكان ما. وبالطريقة نفسها تماماً، عندما يتم إيقاف سيارة مسرعة باستخدام الكوابح، فإن كل الطاقة الناجمة عن حركة السيارة تذهب دون شك إلى مكان ما. وفى حالة السيارة، تتحول الطاقة إلى حرارة فى الكوابح، ويمكن استشعارها بسهولة إذا وضعت يدك قرب أسطوانات الكوابح بعد توقف السيارة مباشرة، وفى حالة سقوط نيزك على الشمس (أو على الأرض)، تتحول أيضاً الطاقة الحركية إلى حرارة، وترفع درجة حرارة كل من النيزك والجسم الذى يصطدم به، سواء كان هذا الجسم هو الشمس أو الأرض. وعندما يصطدم نيزك بالأرض، فإن التصادم يمكن أن يصهر الصخر بشكل انفجارى، محدثاً حفرة ضخمة بقوة عدة ملايين من الأطنان من الديناميت. أى أكبر بكثير من أى انفجار من صنع الإنسان، بما فى ذلك الانفجارات النووية. وبما أن الشمس تشكل كتلة أكبر من الأرض، فإن مجال قوة جاذبيتها يكون أقوى، وبالتالي تسقط النيازك بسرعة

أكبر عند اصطدامها بها، وتكون الطاقة المحررة أكبر مما لو كان النيزك نفسه قد ضرب الأرض.

من حيث المبدأ يمكنك بالفعل أن تجعل الشمس ساخنة بهذه الطريقة، وذلك إذا كان هناك عدد من النيازك يكفى للسقوط عليها. ولا يوجد فى قوانين الفيزياء ما يفيد باستحالة تسخين نجم بهذه الطريقة، ولكن فى الكون الحقيقى، لا يوجد فى أى مكان قريب عدد كافٍ من النيازك للقيام بهذه المهمة. وقد أدرك وترستون ذلك، وعدل فيما بعد حجته حيث افترض أن الشمس تحافظ على حرارتها الداخلية بأن تنقبض تدريجياً وتتكمش على نفسها؛ الأمر الذى يحول طاقة الجاذبية إلى حرارة. وقد أصبحت هذه الفكرة الأساسية حجر الزاوية للحجج التى استخدمها علماء الفيزياء فى النصف الثانى من القرن التاسع عشر «لإثبات» أن الشمس لا يمكن أن تكون قد وجدت بشكلها الحالى لأكثر من مائة مليون عام. وبعد إعطاء كل من ماير ووترستون حقهما من الإشادة بجهودهما الرائدة، حُرِّى بنا أن نذكر أن أفضل طريقة لتقييم التأثير الكامل للحسابات التى أوجدت هذا التناقض مع المقاييس الزمنية التى طالب بها دارون وعلماء الجيولوجيا، هى إلقاء نظرة على أبحاث الرجل الذى أصبح أكبر نصير للمقياس الزمنى الذى يعتمد على طاقة الجاذبية، وهو وليم طومسون، الذى أصبح بعد ذلك لورد كلفن.

العبقريّة الفيكتورية

ولد وليم طومسون وفى فمه ملعقة من فضة على المستوى العلمى، واستطاع أن يستفيد تماماً من الفرص غير العادية التى أتيحت له. عندما ولد فى عام ١٨٢٤ كان والده أستاذاً للرياضيات فى جامعة بلفاست. ونال تعليمه هو وأخوه الأكبر جيمس فى المنزل، حيث تلقيا وهما طفلان أحدث الأفكار الرياضية التى كانت جديدة حتى على المحاضرين الجامعيين (فضلاً عن الطلبة) فى ذلك الوقت، وأصبح كلاهما عالماً ناجحاً، وإن كان وليم هو عالم الفيزياء البارز فى الأسرة (بالفعل، كان وليم طومسون وجيمس كليرك ماكسويل أعظم عالّى فيزياء أنجبتهما بريطانيا فى القرن التاسع عشر). وفى عام ١٨٣٢، أصبح والدهما أستاذاً للرياضيات بجامعة جلاسجو التى التحق بها وليم عام ١٨٣٤ وهو فى سن العاشرة. وعندما بلغ السابعة عشرة، أى فى عام ١٨٤١، انتقل إلى جامعة كمبريدج حيث تخرج عام ١٨٤٥. وفى هذه الفترة بدأ بالفعل فى نشر أبحاث علمية. وقدم للقارئ الإنجليزى، وهو فى السادسة عشرة والسابعة عشرة، ملخصاً

لأبحاث فورييه الخاصة بانتقال الحرارة ودفاعاً عن نظريته، التي كان طومسون قد قرأها بالفرنسية، ولكنها لم تكن معروفة بشكل جيد في بريطانيا حتى ذلك الحين. وطور طومسون أفكار فورييه بحيث لا يقتصر استخدام معادلاته على وصف تدفق الحرارة، بل حساب تدفق الطاقة بشكل عام، بما في ذلك السوائل المتحركة عبر أنبوب والكهرباء المتدفقة عبر كابل.

وبعد تخرجه في كمبريدج، عمل طومسون في باريس لفترة من الوقت، لكن في عام ١٨٤٦ أصبح منصب أستاذ فلسفة التاريخ الطبيعي في جامعة جلاسجو شاغراً. وبفضل الحملة الدقيقة التي خطط لها والده (فضلاً عن مهارته الواضحة)، رُشح طومسون للمنصب وهو في سن الثانية والعشرين. واستقر هناك إلى آخر حياته العلمية، حيث تقاعد بعد ذلك بثلاثة وخمسين عاماً، أى في عام ١٨٩٩. وبالرغم من أن لغز عمر الأرض والشمس كان موضع افتتان صاحبه طيلة حياته، إلا أنه كان مجرد وجه من الوجوه العديدة لتألقه العلمي، ففي عام ١٨٥١، قدم القانون الثانى للديناميكا الحرارية الذى ينص على أن الحرارة لا يمكن أن تنتقل من الجسم الأقل حرارة إلى الجسم الأعلى حرارة. وطور مقياساً لدرجات الحرارة يبدأ من درجة حرارة الصفر المطلق، - ٢٧٣ درجة مئوية، وهى الدرجة التى تسكن عندها كل حركة حرارية للجزيئات والذرات فى أى جسم. وأصبح هذا المقياس لدرجات الحرارة يُعرف بمقياس كلفن تكريماً له، وهو مقياس تتساوى درجاته مع حجم الدرجات المئوية، ولكنه يبدأ من الصفر المطلق وحيث يساوى الصفر المئوى مثلاً، ٢٧٣ كلفن.

لكن تلك الإنجازات لم توفر أسس شهرة طومسون فى نظر الجمهور فى إنجلترا الفيكتورية، وإنما اكتسب شهرته عن عمله فى تصميم أول كابل لتلغراف ناجح مُد عبر الأطلنطى، وبذلك أتاح لمعادلات فورييه أن توضع موضع الاستخدام العملى المفيد. وفى عام ١٨٦٦، منحته الملكة فيكتوريا لقب فارس تقديراً لهذا الإنجاز، وأصبح ثرياً نتيجة للأموال التى حصل عليها على براءة اختراع الكابل الخاص به (وابتكرات أخرى). ثم رُفِعَ إلى طبقة النبلاء، فى عام ١٨٩٢ حيث أصبح بارون كلفن أوف لارجز، وذلك اعترافاً بإنجازاته الواسعة فى مجالى: الهندسة والفيزياء.

إن الجمهور يعرف طومسون بشكل أفضل كمخترع بارع فى ظل التقاليد الفيكتورية العظيمة. لكن هذا العالم القدير الذى تميز بإنجازاته العملية، ظل حائراً فيما يتعلق

بنظرية عُمر الأرض التى لم يفهمها منذ أن قام بصياغة القانون الثانى للديناميكا الحرارية فى عام ١٨٥١. ويفيد القانون الثانى، كما أدرك طومسون ذلك على الفور، أن الأرض تفقد حرارتها بشكل مطّرد ولا يمكنها البقاء إلى الأبد - فالأشياء تَبْلَى. وكتب فى عام ١٨٥٢ يقول:

«فى غضون فترة سابقة محددة من الزمن كانت الأرض غير مناسبة لسكنى الإنسان، وسوف يتكرر ذلك فى حقبة أخرى قادمة، إلا إذا حدثت تفاعلات يستحيل قبول حدوثها بموجب القوانين التى تحكم العمليات المعروفة فى العالم المادى حالياً».

لكن طومسون لم يتبع مباشرة هذه الخلاصة الواسعة بحسابات مفصلة لعمر الأرض، وذلك جزئياً لأنه «تحول» إلى مشكلة الطاقة الشمسية، كما عبر عن ذلك المؤرخ جو بورشفيلد. ففى الاجتماع السنوى للجمعية البريطانية عام ١٨٥٣، أعلنت فرضية وترستون التى تقول إن الأرض تحتفظ بحرارتها نتيجة لسقوط النيازك عليها، وتبنى طومسون الفكرة على الفور وولع بها، وشرع فى حساب الفترة التى يمكن للشمس أن تحتفظ فيها بسخونتها بهذه الطريقة. وأمضى طومسون وقتاً طويلاً يحاول إنجاز فكرة النيازك، ولكنه اضطر فى آخر الأمر إلى التسليم بالهزيمة. ولا حاجة إلى سرد كل الخطوات الأليمة طالما أن النسخة النهائية لفكرة «النيزك» التى طورها طومسون أثبتت عجزها بوضوح. وعندما أصبح واضحاً عدم وجود عدد كاف من الأجسام الصخرية الصغيرة الموجودة فى النظام الشمسى لتوفير مقدار الطاقة المطلوبة للشمس، قدم طومسون فكرة كانت نوعاً من العبث، وهى أن الشمس تحافظ على نيرانها ليس باستهلاك النيازك فقط ولكن باستهلاك كواكب أخرى كاملة، واحداً تلو الآخر. وطبقاً لهذه الفكرة، فإن عطارد، أقرب الكواكب للشمس، يجب أن يلف نحوها بشكل لولبى حتى يصطدم بها معطياً إياها طاقة جاذبيته فى شكل حرارة - لكن ذلك سيوفر طاقة تكفى لإبقاء الشمس ساخنة لمدة سبع سنوات فقط. وسيكون أداء كوكب الزهرة أفضل قليلاً موفرًا طاقة تكفى لتسخين الشمس لمدة ٨٤ عاماً، وحتى نبتون، أبعد الكواكب المعروفة فى المجموعة الشمسية، لا يمكن أن يسهم إلا بطاقة تكفى للحفاظ على نيران الشمس ساخنة لمدة أَلْفَى عام، وذلك لو سقط مباشرة على الشمس. وحتى إذا التهمت الشمس كل الكواكب فى النظام الشمس تبعاً، فإنها لن تستطيع الحفاظ على نيرانها لأكثر من بضع آلاف من السنوات - وهكذا، فإن مخزون الوقود «النيزكى» ليس أفضل من المخزون الكيميائى.

وفى الستينيات من القرن التاسع عشر، استطاع طومسون تقديم طرح أفضل، وهو فكرة انكماش الشمس. لكن وترستون كان قد سبقه إليها عندئذ، وإن كانت أبحاثه لم تزل غير معروفة على مستوى واسع، وينطبق هذا أيضاً على باحث ألماني هو هيرمان هلمهولتز (Hermann Helmholtz)، الذى كانت حياته العملية والمهنية قريبة الشبه بشكل غريب مع جوليس ماير، بطل لغز الطاقة الشمسية الذى لم يَنَلْ التقدير الذى يستحقه.

ولد هلمهولتز فى بوتسدام عام ١٨٢١. وكان طفلاً معتل الصحة نادراً ما يغادر منزله طوال السنوات السبع الأولى من حياته، لكن والده، الذى كان مدرساً للفلسفة والأدب فى مدرسة للتعليم قبل الجامعى فى بوتسدام، تولى تعليمه. وأبدى هيرمان الصغير مهارة كبيرة فى الدراسة النظرية، وعندما اشتد عوده وتحسنت صحته التحق بالمدرسة التى يعمل بها والده فأبدى اهتماماً خاصاً بالفيزياء. لكنه درس الطب بدلاً من الفيزياء؛ لأنه لم يكن بإمكان والده تحمل نفقات التحاق ابنه بالجامعة. ثم التحق بكلية الطب وفق ترتيب معين أعفاه من رسوم الجامعة مقابل التزامه بأن يخدم فى الجيش لمدة ثماني سنوات بعد تخرجه. وطوال أربع سنوات فى معهد فريدريك ويلهلم ببرلين درس هلمهولتز الطب، وتدبر أمره لكى يأخذ دروساً فى الفيزياء والرياضيات وأن يصبح عازف بيانو بارعاً. وتخرج عام ١٨٤٢ فى كلية الطب، وعاد إلى موطنه فى بوتسدام عام ١٨٤٣، حيث عمل جراحاً فى الوحدة العسكرية التى كانت تعسكر فى المدينة. ولم تكن واجباته الطبية شاقة؛ مما أتاح له فرصة إجراء تجارب فى معمل أنشأه بنفسه فى الثكنة العسكرية.

وتذكر السَّير الرسمية أن مهارة وسمعة هلمهولتز كعالم سرعان ما تعاظمت حتى إنه «أُعفى» من واجباته العسكرية عام ١٨٤٨، غير أن هناك إشارات توحى إلى أنه بعد حصوله على إذن رسمى بالتغيب للقيام بأعمال علمية رفض العودة للحياة العسكرية مرة أخرى، فسُرحَ فعلاً من الخدمة العسكرية مفضوباً عليه. لكنه رُشِّحَ فى عام ١٨٤٩ أستاذاً مساعداً للفسيولوجيا (علم وظائف الأعضاء) فى كونيجسبرج، ثم تولى العديد من المناصب الجامعية على امتداد حياته العلمية والمهنية الطويلة والتميزة. وفى عام ١٨٤٨، اكتشف بشكل مستقل قانون بقاء الطاقة، من بحث على الحرارة التى تنتجها عضلات الحيوانات. وهو تقريباً نفس الطريق الذى فاد ماير إلى اكتشافه ذلك القانون

قبل ذلك بعدة سنوات. الأمر الذى قاد هلمهولتز بدوره، كما حدث مع ماير، إلى المزيد من البحث فى الديناميكا الحرارية، وإلى إسهاماته فى الجدل حول أصل طاقة الشمس.

وقد ظهر أول إسهام لهلمهولتز فى هذا المجال فى فبراير ١٨٥٤، قبل أن يقدم طومسون بحثه الأول عن فرضية تصادم النيزك بالشمس إلى الجمعية البريطانية بشهور قليلة. من المحتمل أن يكون طومسون قد رأى بحث هلمهولتز بعد اكتمال بحثه ولكن قبل أن يقدمه لذلك الاجتماع. إن الفكرة الجديدة البسيطة والألمعية التى أسهم بها هلمهولتز هى افتراض أن كل كتلة الشمس ذاتها، وليس فقط الكواكب، لا بد أن توفر طاقة الجاذبية اللازمة لتجعلها ساخنة. كانت الحجة مباشرة وواضحة. إذا كانت الشمس كلها مصنوعة من الصخر وأن هذا الصخر تفتت إلى أجزاء صغيرة، وقُذِفَ بها كلها فى الفضاء، فى هذه الحالة سيكون لدى كل جزء كمية كبيرة من طاقة الجاذبية وستسقط كلها نحو مركز سحابة الأحجار. ويمكننا حساب أو قياس الطاقة المتضمنة فى ذلك عن طريق كمية الشغل التى كان يتعين بذلها لبعثرة الصخور بعيداً عن بعضها البعض. وينطبق الشيء نفسه على حالة شخص يحمل جسماً ثقيلاً ويصعد به مجموعة متواصلة من درجات السلم، حيث يتطلب منه ذلك مجهوداً كبيراً، لأن الجسم الثقيل تم رفعه فى مجال جاذبية فحصل بذلك على طاقة. وإذا رمى الشخص ذلك الجسم الثقيل من النافذة فإنه يسقط ويرتطم بالأرض، وعندئذ يتوقف وترتفع درجة حرارته. لقد تحولت طاقة الجاذبية أولاً إلى طاقة حركة ثم إلى حرارة.

إن طاقة الحركة التى توفرها كتلة كل الكواكب الساقطة على الشمس يمكن فقط أن تحافظ على درجة حرارتها، كما هى الآن، لعدة آلاف من السنوات فقط. لكن طاقة الجاذبية التى توفرها كتلة الشمس نفسها، والتى انتشرت أصلاً فى شكل سحابة من الصخور، ثم سقطت هذه الصخور فى اتجاه الداخل (محولة طاقة الجاذبية إلى طاقة حركة) وانسحقت معاً فى كرة منصهرة من النار (محولة طاقة الحركة إلى حرارة)، ستطلق كمية من الطاقة تساوى تلك التى تشعها الشمس لمدة عشرين «مليون» عام. لم يُجَرِّ هلمهولتز حساباً دقيقاً فى ذلك الوقت، إنما أشار فقط إلى أن قدرّاً هائلاً من الطاقة يمكن أن يتحول إلى حرارة بهذه الطريقة. وسرعان ما وضع طومسون الأرقام فى المعادلات، لكنه لم يفكر كثيراً فى الاقتراح، إذ كان يعتبر أن فكرة أن تكون المادة

الأصلية للكون عبارة عن سحابة من قطع الأحجار غير المنتظمة فكرة غير قابلة للتصديق. بالإضافة إلى ذلك، ما ميزة أن تكون الشمس قد أنتجت عند تكونها طاقة تساوي عشرين مليون ضعف الطاقة التي تشعها سنوياً، أنتجت مرة واحدة؟ إن الأمر يتطلب طريقة لتحرير الطاقة ببطء على امتداد ملايين السنين، وليس وسائل توليد انفجار كونى هائل.

مقاييس كلفن الزمنية

في عام ١٨٥٤، لم يُعرَ أحد إسهامات طومسون أو هلمهولتز اهتماماً، وسرعان ما انشغل طومسون بموضوعات أخرى. وفي ديسمبر ١٨٦٠، وقع حادث سعيد (بالنسبة للعلم، ولكنه كان أليماً بالنسبة لطومسون، بلا أدنى شك) وتركه الحادث بساق مكسورة، ومتسع من الوقت للتفكير وهو ممدد على السرير. وكان ذلك بعد عام بالضبط من نشر كتاب دارون «الأصل»، وقد يكون ذلك هو السبب في أن أحد الأشياء التي فكر فيها طومسون كان أصل مخزون طاقة الشمس، وقضية عمر الأرض والشمس. وقد ظهرت ثمار تفكيره عام ١٨٦٢ في مجلة مكميلان، وأحدثت تأثيراً كبيراً هذه المرة.

في ذلك الوقت، اعتمد طومسون في حججه بشكل كبير على صورة كتلة من النيازك القادمة معاً في وقت واحد، ولم يهتم كثيراً بكيفية اختزان كمية الطاقة الكبيرة المتاحة وكيفية السماح لهذه الطاقة أن تقطر ببطء عبر ملايين السنوات، ولكنه ركز اهتمامه على حساب كمية الطاقة المتاحة والمدة التي يمكنها «إذا» انتشرت، أن تحتفظ بالشمس مشعة بدرجة سطوعها الحالية. وقد أثبتت النظرية بشكل تقريبي، أن هناك كمية طاقة مخزونه في سحابة الصخور الأصلية تكفي لتوفير إنتاج طاقة شمسية بالمعدلات الحالية، لمدة تتراوح ما بين عشرة إلى عشرين مليون عام. وحتى بقبول احتمال وجود أخطاء في الحسابات أو في الافتراضات التي بُنيت عليها، كان طومسون لا يرى طريقة تسمح بزيادة ذلك الرقم بمُعامل أكثر من عشرة أضعاف تقريباً، وقد عبر عن ذلك في أحد مقالاته قائلاً:

«لعل من المرجح أن الشمس لم تضيئ الأرض لمدة مائة مليون عام، ومن المؤكد تقريباً أنها لم تفعل ذلك لمدة خمسمائة مليون عام. وبالنسبة للمستقبل، وللملايين من الأعوام

القادمة، يمكننا القول بنفس الدرجة من اليقين إنه لن يكون بإمكان سكان الأرض الاستمرار في التمتع بضوء وحرارة الشمس الضرورية لحياتهم، إلا إذا كانت هناك مصادر للطاقة لا نعرفها حالياً يجري إعدادها في مخزن الخلق الشاسع».

إن هذه التعليقات تحمل بشكل واضح قدراً كبيراً من التنبؤ، لكن المؤكد أن طومسون لم يكن يتوقع حقاً اكتشاف مصادر الطاقة المجهولة بالنسبة للعلم في القرن التاسع عشر، كما يتضح من هجومه على دارون بعد ذلك في المقال المشار إليه.

كان دارون قد قام بين أشياء أخرى، بحساب المدة التي يجب أن تستغرقها عملية التعرية لكي تؤدي إلى المظهر الحالي لتلال ووديان الطباشير في النجد الإنجليزي، وقد اعتمد في ذلك على وجهه نظر ليل القائلة بأن التغيرات الجيولوجية في تاريخ الأرض ترجع إلى عمليات لاتزال نشطة حتى الآن، وعلى قياسات أظهرت أن الجروف الطباشيرية تتآكل بمعدل بوصة كل قرن. وقصد دارون أن يكون الحساب موضعاً للقياس الزمني الطويل للأرض، لكنه أنجز هذا العمل بلا مبالاة تقريباً وعاش ليندم على أنه قام بنشره. ورغم بعض المغالاة في الرقم الذي توصل إليه دارون، لكنه لا يتعارض بشكل صارخ مع المقياس الزمني الذي نتصوره حالياً لتطور الأرض والذي يُقدر بعدة مليارات من الأعوام. ومع ذلك كان الرقم الذي قدمه دارون - بالنسبة لطور حديث نسبياً من النشاط الجيولوجي - أكبر من الرقم الذي حسبه طومسون لعمر الشمس. وقد كان طومسون قاسياً في رده على تقدير دارون:

«إذاً، ما الذي يجعلنا نفكر في تقديرات جيولوجية مثل ٢٠٠ مليون عام لتعرية النجد الإنجليزي؟ وهل من الأرجح أن تختلف الظروف الفيزيائية لمادة الشمس الباغمة عن تلك التي تواجهها المادة في معاملنا، طبقاً للافتراض الذي تدعونا إليه الديناميكا، أم أن بحراً عاصفاً، مع تيارات بحرية شديدة العنف، سوف يتعدى على جرف طباشيري بمعدل أسرع ألف مرة عن تقدير السيد دارون القائل ببوصة كل قرن؟».

وبدأ طومسون جدلاً ومعاركة استمرت باقى القرن التاسع عشر، واضطر أنصار نظرية التغير التدريجي المنتظم لكوكب الأرض إلى اتخاذ موقف الدفاع في تلك المعركة. وسرعان ما أتبع مقاله عن حرارة الشمس في عام ١٨٦٢ بحسابات جديدة عن عمر

الأرض تعتمد على تطبيق معادلات فورييه الخاصة بتدفق الحرارة. وقد افترض طومسون أن الأرض تكونت فى حالة منصهرة نتيجة للحرارة المتولدة من تصادم النيازك - وهى قريبة جداً من الصورة التى لدى علماء الفلك الآن. وكان يعرف أن القياسات التى أُجريت فى المناجم قد أظهرت أن داخل الأرض لا يزال ساخناً عن القشرة الخارجية، واستخدم طومسون فيزياء الصوت والقياسات المعروفة لزمن انتقال الحرارة عبر بطانة عازلة من الصخر، لحساب المدة التى استغرقها الكوكب المنصهر الأسمى لكى يبرد ويصل إلى حالته الراهنة. وتوصل إلى أن عمر الأرض هو ٩٨ مليون عام، ولحسن الحظ، اتفق هذا الرقم تقريباً بالضبط مع حسابه لعمر الشمس. وحتى لا يتجاهل هامش الخطأ، قال طومسون بحذر إن الحسابات التى توصل إليها تضع حدوداً للعمر المعقول للأرض. ويتراوح هذا العمر ما بين عشرين مليون عام ومائتى مليون عام، ولكن ليس هناك مجال (فى إطار قوانين الفيزياء المعروفة لطومسون) لإمكانية أن تكون الأرض قديمة بالدرجة التى يفترضها دارون وعلماء الجيولوجيا. وكانت حسابات طومسون خالية من الأخطاء، كما كانت الخلاصات التى توصل إليها سليمة. لقد اعتقد أنه يمكن وصف الكون بأكمله بواسطة مجموعة قوانين الفيزياء نفسها التى تصح فى العمل وعلى الأرض، وتمسك بذلك المعتقد بقوة. إن الحسابات التى توصل إليها لعمر كل من الشمس والأرض، كل على حدة، والتى أعطت العمر نفسه تقريباً لكل منهما، قد عززت، فى الواقع من موقفه فى الجدل الذى أعقب ذلك.

كان طومسون، من ناحية ما، أكثر ثباتاً فيما يتعلق بأرائه ووجهات نظره عن دارون، ففى الطبقات اللاحقة لكتابه «الأصل» بدا دارون واقعاً فى شرك حسابات طومسون لعمر الشمس والأرض، حتى إنه تبنى بعض الأفكار التى لا تحظى حالياً بالمصداقية، وذلك فى محاولة لإيجاد طريقة لتسريع معدل التطور. ولذلك، تُعد الطبعة الأولى لعمله الكبير «أصل» هى أفضل وأوضح عرض لأفكاره.

ورغم أن أنصار نظرية التطور التدريجى المستمر لكوكب الأرض اضطروا إلى القيام ببعض الانسحاب التكتيكي، فإن الجدل استمر، بينما واصل طومسون مراجعة حساباته وتحسينها. وفى عام ١٨٨٧، توصل إلى النسخة الموجودة حالياً فى العديد من الكتب التى يدرسها الطلاب، والتى تقدم الوصف الكامل لكيف يصبح نجم مثل الشمس ساخناً

فى بادئ الأمر. إن الفكرة تعتمد فى الحقيقة على اقتراح تقدم به هلمهولتز فى عام ١٨٥٤ فى بحثه عن حرارة الشمس - لكن طومسون لم ينسب أى فضل لهلمهولتز عندما قدم حساباته فى المحاضرة التى ألقاها فى الجمعية الملكية فى لندن عام ١٨٨٧، ولعله نسى أن هلمهولتز هو الذى سبق أن رسم معالم الطريق.

لقد كانت السمة المهمة فى الخطوة النهائية لبحث طومسون عن حرارة الشمس هى إدراك أن المهم ليس كون «الصخور» الأصلية التى تكونت منها الشمس صغيرة أو كبيرة، طالما أن الكمية نفسها من المادة - الكتلة نفسها - هى المستخدمة. إن طاقة حركة تصادم نصفى الشمس عند سقوطهما مباشرة نحو بعضهما البعض من مسافة بعيدة جداً، مساوية لطاقة حركة انهيار سحابة من النيازك نحو مركزها. ويمكن أيضاً أن تكون الأجسام المشاركة فى هذا التصادم «أصغر» بكثير من الصخور النيزكية التى تم تصويرها فى الصيغة السابقة للنظرية. قد تكون حصى صغيراً، حصباً أو سحابة من التراب - لكن الطاقة المتاحة تكون هى نفسها، طالما أن لها نفس الكتلة الكلية. وكذلك ستكون الطاقة المتاحة هى نفسها إذا كانت السحابة الأصلية التى تكونت منها الشمس عبارة عن ذرات وجزيئات - سحابة من «الغاز» انتشرت أصلاً على امتداد حجم هائل ثم انهارت تحت تأثير قوة جاذبيتها الذاتية (تحت ثقل وزنها). وفى ذلك الوقت، تقلصت هذه السحابة الغازية المنهارة حتى بلغت حجم الشمس الحالى تقريباً، وقد تصل درجة الحرارة فى قلبها إلى ملايين الدرجات المئوية، بينما يتوهج سطحها بحرارة تصل إلى بضـع آلاف من الدرجات المئوية. ويقبل علماء الفلك ذلك الآن على أنه أقرب تفسير لكيفية عمل النجوم وسلوكها.

وعندما يصبح الجزء الداخلى من هذا النجم الأول ساخناً لدرجة معينة يتولد قدر كبير من الضغط نحو الخارج، لأن الحرارة تجعل الجسيمات الذرية شديدة النشاط. وتؤدى عملية الاصطدام القوية للجسيمات مع بعضها البعض إلى تماسك النجم ضد مزيد من الانهيار، لأنه لا يمكن أن ينهار بالكامل طالما كان ساخناً من الداخل، وكان طومسون يعرف أن الحرارة المنبعثة من المركز ستستغرق وقتاً طويلاً لكى تشق طريقها إلى الخارج. لكن ما الذى يمكن أن يحدث عندما تبرد قليلاً هذه الكرة المتوهجة من الغاز؟ كان لدى طومسون (وهلمهولتز) الإجابة. لو كانت الشمس عبارة عن كرة من الغاز

المتوهج وبردت قليلاً من الداخل، فإنها ستبدأ في الانكماش. ولكن ما الذى سينطوى عليه هذا الانكماش؟ سوف تتحرك كل الجسيمات الذرية فى الشمس وتكون أقرب إلى المركز - وقد تسقط فى مجال الجاذبية. وما الذى يحدث عندما تسقط الأشياء فى مجال جاذبية؟ إنها تكتسب طاقة حركة وتتحول هذه الطاقة إلى حرارة عند تصادمها مع بعضها البعض! كل ذلك كان مطلوباً لتأمين تحرر طاقة الجاذبية المختزنة فى الشمس أو انطلاقها ببطء، على امتداد ملايين السنوات وانكماش الشمس ببطء أيضاً بمعدل خمسين متراً سنوياً تقريباً. إن هذه العملية لم توفر مزيداً من الطاقة - فقد ظل المجموع محصوراً فى عشرين مليون عام من المخزون التى قدرها طومسون من قبل. لكن ذلك وفر وسائل انتشار الحرارة على امتداد عشرين مليون عام بدلاً من انطلاقها فى انفجار واحد هائل. وقد كان الانكماش المطلوب، بمعدل خمسين متراً فى العام، صغيراً جداً بالطبع بحيث يتعذر قياسه بواسطة علماء الفلك فى القرن التاسع عشر، وبالتالي لم يلحظ أحد ذلك ولم تكن هناك مشكلة على الإطلاق.

ولما كان طومسون قد ركز الانتباه على مثل هذا المقياس الزمنى المحدود، فإن أنصار التطور التدريجى والمستمر لكوكب الأرض أصبحوا أقل ميلاً للقبول به، بالرغم من أن تفكيره الفيزيائى كان يتقدم ويتحسن فى كل مرحلة. ولعلمهم كانوا سيحاولون قبول رقم ٥٠٠ مليون عام، لكن عشرين مليون عام لم تكن كافية لتفسير التغيرات التى طرأت على الأرض وسكانها من الكائنات الحية منذ أن تكونت. وبشكل ما، كان المقياس الزمنى لطومسون ضحية لنجاح هذا المقياس نفسه، فكلما أشار بوضوح متزايد إلى عمر منخفض للأرض والشمس، تبين أن هناك صراعاً وخلافاً حقيقياً بين كل من علماء الفيزياء والجيولوجيا.

وقد كتب طومسون فى عام ١٨٨٩ يقول: «أعتقد أن من التهور البالغ افتراض إمكانية امتداد عمر ضوء الشمس لأكثر من عشرين مليون عام فى تاريخ الأرض، أو الاعتقاد ببقائه أكثر من خمسة أو ستة ملايين عام قادمة». وفى عام ١٨٩٢، الذى حصل فيه على رتبة نبيل فى سن الثامنة والستين، كرر تقريباً التعليق نفسه الذى قاله عام ١٨٥٢ عندما كان فى الثامنة والعشرين من عمره، لكن الأرقام كانت تعضد قوله فى تلك المرة:

«فى غضون فترة سابقة محددة من الزمن كانت الأرض غير مناسبة لسكنى الإنسان، وسوف يتكرر ذلك فى فترة أخرى قادمة، إلا إذا حدثت تفاعلات يستحيل قبول حدوثها بموجب القوانين التى تحكم العمليات المعروفة فى العالم المادى حالياً».

وبحلول عام ١٨٩٧، قبل طومسون الذى كان معروفًا وقتئذ باسم كلثن برقم ٢٤ مليون عام كأفضل تقدير لعمر الشمس والأرض.

كانت كل حسابات طومسون، مثل حسابات أناكزاجوراس، دقيقة وبعيدة عن أية أخطاء. والآن، وبعد قرن من المراقبة والملاحظة للشمس والنجوم، وإجراء المزيد من الحسابات التطبيقية لقوانين الديناميكا الحرارية، وبمساعدة أجهزة الكمبيوتر، اتفق علماء الفلك على أن نجمًا مثل الشمس يمكن أن يحافظ على سخونته بالانكماش البطيء لمدة لا تزيد على عشرات قليلة من ملايين السنين، وهذا هو مقياس كلثن - هلمهولتز الزمنى. وتلك هى كل الطاقة المتاحة من تحول طاقة الجاذبية إلى حرارة. وقبل نهاية القرن التاسع عشر، كان واضحًا أن هذا الرقم لا يتفق مع متطلبات الجيولوجيا ونظرية النشوء والارتقاء أو نظرية التطور. وفى عام ١٨٩٩، كان لا بد من تقديم شيء جديد، وجاء توماس شمبرلين (Thomas Chamberlain)، أستاذ الجيولوجيا بجامعة شيكاغو ليشير إلى بداية الطريق.. لقد حرص طومسون دائمًا على الإشارة إلى أن السبيل الوحيد لتوفير مقياس زمنى أطول للشمس هو التماس مصادر طاقة غير معروفة وقوانين فيزياء جديدة، ولكن أسلوبه فى تناول الأمر يدل على أنه يستخدم ذلك كمثال على شيء بالغ السخافة لدرجة عدم إمكانية أخذه على محمل الجد. غير أن شمبرلين كان مستعدًا لتأمل ما لا مجال للتفكير فيه، وقد كتب معلقًا فى مجلة ساينس (Science) يقول:

«هل معرفتنا الحالية بسلوك المادة فى ظل ظروف غير عادية مثل تلك الموجودة داخل الشمس كاملة بما يكفى بحيث يسمح بالجزم بعدم وجود مصادر أخرى مجهولة للحرارة قابعة هناك؟ إن التكوين الداخلى للذرات لا يزال مجالاً خصباً للبحث. فلعل هناك تنظيمات بالغة التعقيد ومراكز لطاقات هائلة. ولا يمكن، بالطبع، للكيميائى الحذر أن يجزم أن الذرات بسيطة وأولية حقًا، أو أنها لا تحبس داخلها طاقات عظيمة المقدار. لا يوجد كيميائى حذر يمكنه أن... يؤكد أو ينفى أن الظروف غير العادية الموجودة فى مركز الشمس لا يمكنها أن تحرر جزءًا من هذه الطاقة».

لقد عادت الجيولوجيا تحارب من جديد، وكانت على حق في ذلك، وكان المجتمع العلمي مهيباً لقبول تفسير جديد تماماً لكيفية احتفاظ الشمس بنيرانها. ورغم أن دلالات على ذلك المصدر «الجديد» للطاقة كانت متاحة عندما كتب شمبيرلين تلك الكلمات، إلا أن الأمر استغرق ثلاثين سنة كاملة لتوضيح الخطوط العريضة لما يجري داخل الشمس، وأكثر من أربعين عاماً حتى يتم التعرف على التفاصيل.

الفصل الثانى

مراكز الطاقات الهائلة

ما مقدار الحرارة التى تنتجها الشمس؟ وما «الطاقات الهائلة» التى نحتاج إلى تحريرها من الذرة لكى نثبت أن شمبـرلين (Chamberlain) على صواب؟ إن إنتاج الشمس للطاقة لا يُعتبر أمراً خارقاً إلى هذا الحد ولو بالمقارنة بمعدل إنتاج الطاقة هنا على الأرض حتى من خلال التفاعلات الكيميائية. فى بداية الستينيات، طرح جورج جامو (Georges Gamow) فى كتابه «نجم اسمه الشمس» على بساط البحث تشابهاً مدهشاً، حيث سأل، إذا عُرِض إعلان يقول إن إناء للقهوة ينتج حرارة بنفس معدل إنتاج الحرارة (فى المتوسط) داخل الشمس، فكم من الوقت تستغرق المياه لكى تصل إلى درجة الغليان؟

وكانت الإجابة المدهشة عن سؤال جامو أنه حتى لو تم عزل الإناء تماماً، بحيث لا يمكن للحرارة أن تتسرب منه، فإن غليان الماء قد يستغرق عدة شهور. فكل جرام من كتلة الشمس ينتج فى المتوسط قدرًا قليلاً جداً من الحرارة، كما يتضح ذلك من عملية حسابية بسيطة. إن مساحة سطح الشمس $6,07 \times 10^{22}$ سم² حيث يبلغ نصف قطرها $6,95 \times 10^8$ سم، ويعبر هذه المساحة كل ثانية $8,8 \times 10^{20}$ سعر من الطاقة الحرارية. ومن ناحية أخرى، فإن كتلة الشمس تُقدر بـ 2×10^{33} جرام. ومن ثم يتعين على كل جرام من المادة أن ينتج فى المتوسط $4,4 \times 10^{10}$ سعر فى الثانية فقط - أى أقل من نصف على عشرة ملايين من السعر فى الثانية. إن ذلك لا يُعد منخفضاً فقط بمعايير إناء القهوة، بل إنه أقل بكثير من معدل انطلاق الحرارة فى جسمنا خلال العمليات الكيميائية للأبيض البشرى.

ويرجع السبب في أن مثل هذا الإنتاج المتواضع من الطاقة، مقارنة بكتلة الشمس وحجمها، يكفي للحفاظ عليها ساخنة، إلى أن الحرارة لا يمكنها الانبعاث من داخل الشمس إلا من خلال السطح فقط، وهي مساحة تعتمد على مربع نصف القطر. ولأن الكتلة والحجم يتناسبان مع مكعب نصف القطر، فإنهما يزدادان بسرعة أكبر من مساحة السطح عند مقارنة أجسام كروية ذات أنصاف أقطار أكبر وأكبر بشكل مطّرد. ففي كل مرة يتضاعف فيها نصف القطر، تزيد مساحة السطح أربعة أضعاف بينما يصبح حجم الجسم الكروي أكبر بثمانية أضعاف.

ويمكننا رؤية هذا التأثير عملياً بوضوح تام، في الحيوانات ذات الدم الدافئ. فالفأر مثلاً حجمه صغير جداً، وكذلك كتلته غير أن مساحة سطح جسمه كبيرة نسبياً؛ ولذلك فإنه يفقد الحرارة سريعاً ويتعين عليه بالتالي أن يبقى في حالة نشاط دائمة وأن يأكل بشكل مستمر تقريباً لكي يحافظ على درجة حرارة جسمه. وفي الجانب المقابل، فإن للفيل كتلة كبيرة ومساحة سطح صغيرة نسبياً، وبالتالي لديه مشكلة في التخلص من الحرارة. لذلك نَمَتَ له أذان كبيرة تقوم بدور الرادياتور أو المشعاع(*)، فضلاً عن أنه يقضى وقتاً طويلاً يرش الماء وينثره على جسمه، كلما تيسر له ذلك. إن الحرارة المتولدة من عمليات الأيض داخل جسمه تكفي لاستخدامها في الطهي.

وبالتالي، أدرك علماء الفلك في القرن التاسع عشر، أنه من السهل جعل الشمس ساخنة بما يكفي لكي تضيء باستخدام كمية متواضعة من طاقة الجاذبية التي تنطلق أثناء انكماش الشمس. بل إن احتراق الفحم يمكن أن يُبقى على الشمس ساخنة، لبعض الوقت. إن المشكلة تكمن في تفسير كيف تمكنت الشمس من أن تضيء طوال هذه المدة الطويلة. وهو المجال الذي استطاعت الفيزياء الجديدة في التسعينيات من القرن الماضي وبدايات القرن العشرين أن تقدم فيه يد العون لعلم الفلك.

الكشف عن الطاقة الإشعاعية(**)

في أول مارس ١٨٩٦، اكتشف هنري بيكريل (Henri Becquerel) أثناء عمله في باريس الظاهرة التي نعرفها حالياً بالنشاط الإشعاعي. وأدى اكتشافه إلى التحقق من

(*) هي شبكة من الأنابيب تُستخدم لتبريد محرك السيارة. (المترجم).

(**) هنري أنطوان بيكريل (١٨٥٢ - ١٩٠٨) فيزيائي فرنسي ولد في باريس. وحصل على جائزة نوبل مناصفة مع الزوجين ماري وبيركوري عام ١٩٠٢ تقديرًا لاكتشافه لإشعاعات بيكريل المنبعثة من أملاح اليورانيوم، وكان من نتائج اكتشافاته التمكن من عزل عنصر الراديوم.

أن الذرة قابلة للانقسام، وإلى تحديد هوية مصدر طاقة الشمس والنجوم. إلا أن هذا الاكتشاف حدث جزئياً بالصدفة، واستغرق الأمر سنوات عديدة قبل أن يصبح حجر الزاوية لعلمى الفيزياء والفلك.

وُلد بيكريل العضو الثالث من سلالة فريدة من علماء الفيزياء الفرنسيين البارزين. في باريس في ١٥ من ديسمبر ١٨٥٢، وبالرغم من أنه تدرب كمهندس وأصبح كبير مهندسى قسم الطرق في باريس، فإن القدر والعرف العائلى كانا كفيلىن بأن تصبح إنجازاته الباقية في مجال الفيزياء. وكان التاريخ العائلى قد بدأ مع أنطوان، جد هنرى، الذى أجرى أبحاثاً على بعض الظواهر الكهربية وظاهرة التألق(*)، وحقق نجاحاً فيها، حتى أن المتحف الفرنسى للتاريخ الطبيعى خصص له كرسي أستاذية في الفيزياء في عام ١٨٢٨. وكان إدموند، الابن الثالث لأنطوان، يساعد أباه في تلك التجارب، كما جذبه دراسة المواد الصلبة المتفسرة، وهى بلورات تتوهج في الظلام. وقد ذكر إدموند بيكريل في بحث علمى نُشر في مجلة «كونت رندو» (Comptes Rendus) في عام ١٨٥٨ «أن مركبات اليورانيوم هى الأجسام التى تحدث أقوى تأثيرات التألق». وعندما توفى والده في عام ١٨٧٨، خلفه إدموند كأستاذ في المتحف.

ومن ثم لم يندعش أحد عندما بدأ هنرى، بالرغم من تدريبه الهندسى، في مساعدة والده في العمل في عام ١٨٧٥. وسرعان ما أثبت قدرته كفيزيائى. وفي عام ١٨٨٩، تم اختياره عضواً في أكاديمية العلوم وكان عمره ٣٦ عاماً فقط، وعندما توفى والده عام ١٨٩١ أصبح ثالث شخص وثالث بيكريل يحتل كرسي أستاذ الفيزياء في متحف التاريخ الطبيعى. وفي الوقت المناسب، خلف جان ابن هنرى الوحيد أباه على كرسي الأستاذية (توفى هنرى عام ١٩٠٨). وبعد ١١٠ أعوام من إنشاء كرسي الفيزياء بالمتحف الفرنسى للتاريخ الطبيعى، وفي عام ١٩٤٨ فقط، خرجت الأستاذية من عائلة بيكريل عندما أن دون أن يخلف وريثاً. لكن من كل هذه السلالة المتميزة، كان هنرى هو الذى بخلود العلمى بالاكتشاف الذى توصل إليه في باريس في ذلك اليوم الرمادى من

١٨٩٦.

(*) انبعاث لضوء، كما في حالة التفسفر والتفلور، ليس نتيجة لتوهج حرارى مباشر ويحدث عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة الأجسام المتوهجة. (الترجم).

بالنسبة لعلم الفيزياء، كان العقد الأخير من القرن التاسع عشر فترة مثيرة جداً، حيث حفلت باكتشافات جديدة فى مجال طبيعة المادة والطاقة الإشعاعية. لقد قادت هذه الاكتشافات إلى فهم جديد تماماً لطبيعة العالم المادى، ومهدت لنشوء أكبر نظريتين فى القرن العشرين، وهما: فيزياء الكم والنظرية النسبية. وفى التسعينيات من القرن العشرين، كان العديد من الفيزيائيين على ثقة من أنهم سيتمكنون قريباً من توحيد هاتين النظريتين الكبيرتين فى حزمة واحدة، أو وصف موحد للطبيعة، مستكملين بذلك الثورة التى بدأت بالفعل منذ مائة عام تقريباً، أى فى عام ١٨٩٥، باكتشاف الأشعة السينية. إن هذا الاكتشاف هو الذى قاد إلى أبحاث بيكريل فى مجال الطاقة الإشعاعية، وإلى اكتشاف مصدر طاقة النجوم.

عندما اكتشف العالم الألمانى ويلهلم رونتجن (Wilhelm Röntgen) الأشعة السينية، وهو فى الخمسين من عمره، كان وراءه نجاح مهنى متميز؛ حيث كان أستاذاً للفيزياء فى جامعة فورزبرج (Würzburg)، وأصبح مهتماً بالبحث فى مجال الأشعة الكاثودية. وتتبع هذه «الأشعة» (التي نعلم الآن أنها تيارات من الإلكترونات) من القطب السالب (الكاثود) لأنبوب تفريغ كهربائى، وهو عبارة عن أنبوب زجاجى شبه أسطوانى مفرغ. ويُعد مثل هذا الأنبوب السلف المباشر لأنبوب الصورة فى جهاز التلفاز الحديث، حيث يتم رسم الصورة على شاشة التلفاز بواسطة إلكترونات طائرة منبعثة من القطب السالب (الكاثود) فى الطرف الآخر من الأنبوب. وقد كان كل ذلك، على أية حال، يكمن بعيداً فى المستقبل عندما بدأ رونتجن فى دراسة أشعة الكاثود عام ١٨٩٥.

ففى يوم الجمعة ٨ من نوفمبر، وبينما كان رونتجن فى معمله المظلم، حيث كان الأنبوب الزجاجى مغطى بكرتون أسود رقيق، لاحظ بالصدفة أن حاجزاً ورقياً مدهوناً بمادة سيانيد بلاتين الباريوم، يقع قرب الجهاز، يتوهج كلما تم توصيل الأنبوب بمصدر كهربائى. وكان قد أثبت من قبل قدرة أشعة الكاثود على الانتقال لبضعة سنتيمترات فقط خارج الأنبوب، لكن الحاجز، الذى لم يُستخدم فى التجربة، كان يبعد عن الأنبوب بحوالى المتر. إذًا، هناك شىء آخر جعل الورق يتوهج - وسرعان ما اكتشف رونتجن هذا الشىء الآخر الذى يجعل الحاجز يتوهج عند تشغيل الأنبوب، حتى بعد نقله إلى الغرفة المجاورة. وبذلك اكتشف رونتجن أشعة إكس، وهى شكل لم يكن معروفاً من قبل للأشعة التى تتفد خلال المواد.

وتم إعلان هذا الاكتشاف فى أول يناير ١٨٩٦، وكان يتضمن إمكانية استخدام أشعة إكس لتصوير العظام البشرية عبر اللحم الحى. وأثار النبأ ضجة فى الأوساط العلمية وفى الصحافة، وكانت الصحف الأوروبية تتابع هذه التقارير بشكل لحظى تقريباً، وعلى الجانب الآخر للأطلنطى عرضت «نيويورك تايمز» للاكتشاف فى ١٦ من يناير وأعقبت ذلك بتقارير أخرى فى شهر فبراير. ولأول مرة تأخرت المجلتان العلميتان نيتشر (Nature) وساينس (Science) وراء الصحافة الجماهيرية، ونشرتتا ترجمات لبحث رونتنجن فى ٢٢ من يناير و١٤ من فبراير على التوالى.

وفى فرنسا، نقلت «ليماتان» (Le Matin) الرواية فى ١٢ من يناير، وكانت أشعة إكس موضوع المناقشة الرئيس لاجتماع الأكاديمية الفرنسية للعلوم فى ٢٠ من يناير. وكان بيكريل حاضراً الاجتماع، وعرف من زملائه أن رونتنجن حدد هوية مصدر أشعة إكس - فقد صدرت من النقطة المضيئة فى جدار أنبوب التفريغ الزجاجى حيث تصطدم أشعة الكاثود، وتجعلها تتفلور. واستكمالاً للاهتمام العائلى بظاهرة التفسفر، قرر بيكريل على الفور إجراء تجارب لمعرفة ما إذا كانت أشعة إكس يمكن أن تنبعث من أجسام متفسفرة أخرى. وكان من بين البللورات التى حددها للاختبار بعض أملاح اليورانيوم، بما فى ذلك ملح ثنائى كبريتات يورانيل البوتاسيوم، الذى كان قد تم تحضيره قبل ذلك بخمسة عشر عاماً، أثناء عمله مع والده.

وسرعان ما وجد بيكريل التأثير الذى كان يبحث عنه. فلقد نشطت الأملاح المتفسفرة التى استخدمها عندما قام بتعريضها لضوء الشمس. وظلت تتوهج لفترة قصيرة قبل أن تبته وتحتاج إلى مزيد من الشحن من أشعة الشمس. فقام بلف شريحة فوتوغرافية بين قطعتين من الورق الأسود السميكة ووضع فوقها طبقاً به المادة المتفسفرة وعرضها لأشعة الشمس. وعند تحميص الشريحة، وجد أن المحيط الخارجى للمادة المتفسفرة قد ظهر على الشريحة، وعندما وضع عملة معدنية بين الطبق والشريحة الملفوفة وعرض الجميع لأشعة الشمس، أوضحت الشريحة المحمضة صورة العملة المعدنية. واستنتج بيكريل، فى بحث قدمه إلى أكاديمية العلوم فى ٢٤ من فبراير ١٨٩٦ «أن أشعة تنبعث من المادة المتفسفرة المعنية وتنفذ خلال ورق لا يُنفذ الضوء».

وعند هذه المرحلة، كان الأمر يبدو وكأن النشاط التفسفرى الذى تم تحفيزه بأشعة الشمس، أنتج أشعة مماثلة لأشعة إكس - وربما تكون هى أشعة إكس نفسها. ولكن، بعد

ذلك بأسبوع واحد، عاد بيكريل إلى الأكاديمية ليقرر أن هذا التأثير لا علاقة له بأشعة الشمس ولا بظاهرة التفسفر. ففى الأيام الأخيرة من شهر فبراير ١٨٩٦، كان بيكريل قد أعد تجربة أخرى، وضع فيها قطعة من النحاس على شكل صليب بين طبق به أملاح يورانيوم وشريحة فوتوغرافية. ونظراً لاحتجاب الشمس، حيث كانت سماء باريس ملبدة بالغيوم فى تلك الأيام، احتفظ بها فى خزانة لعدة أيام.

ثم قام فى يوم الأحد الموافق الأول من مارس، ربما لأنه مل الانتظار، بتحريض الشريحة، واندesh عندما وجد صورة واضحة وصافية، للصليب النحاس. ويبدو أن الأمر كان مفاجأة تامة له، إذ قال ابنه جان، الذى كان فى الثامنة عشرة من عمره حينذاك، وهو يتذكر فيما بعد ذلك اليوم، أن هنرى كان «مذهولاً» عندما «وجد أن الصورة الظلية كانت أكثر حدةً وشدةً من الصور الظلية التى حصل عليها فى الأسبوع السابق».

كان هناك بالطبع عنصر صدفة وحسن طالع فى ذلك الاكتشاف، حتى لو كان بيكريل يخطط، كعالم جيد، لكى يتحقق من «النتيجة الصفرية» التى كان يتوقعها، أى أن تكون الشريحة خالية، طالما أن الأملاح لم تتعرض لضوء الشمس. لقد شعر بيكريل نفسه أن ما حدث هو قدر، كما ذكر إبراهيم بيز فى تاريخه لفيزياء الجسيمات. لقد اعتبر بيكريل ذلك تنويجاً لجهد ثلاثة أجيال من عائلته ظلوا يبحثون لمدة ستين عاماً فى ذات المعمل فى مجال ظاهرة التفسفر.

غير أن الأثر المباشر لأبحاث بيكريل لم يتعدَّ دائرة صغيرة من العلماء، على نقيض ما حدث لاكتشاف رونتجن. ربما بدا الاكتشاف شديد الشبه بأشعة إكس بالنسبة للصحافة الجماهيرية التى لم تتمكن من تمييز الفارق. لكن سرعان ما أدرك عدد قليل من الخبراء على الأقل ما يتضمنه الاكتشاف من دلالات عميقة. وأوضح بيكريل على الفور أن مصدر الإشعاع هو اليورانيوم ذاته، وهو كمعدن فى صورته النقية ليس متفسفراً البتة. وكان يتساءل فى نهاية ١٨٩٦ عن مصدر طاقة هذا الإشعاع، طالما أنه لا يتوقف على ضوء الشمس.

وقد شكل هذا الاكتشاف لغزاً فريداً، فمصدر الكهرباء فى حالة أشعة إكس واضح تماماً، وهو الكهرباء المستخدمة فى أنبوب أشعة الكاثود. وبدا الأمر وكأن الطاقة الإشعاعية لليورانيوم شئ لا طائل منه. وفى عام ١٨٩٦، كتب بيكريل فى مجلة «كونت

رندو» (Comptes Rendus) انه «لم يتمكن بعد من معرفة من أين يستمد اليورانيوم الطاقة التي يشعها بمثل هذه الاستمرارية». ولكنه بانتهاء ذلك العام، حول اهتمامه إلى موضوعات علمية أخرى، وإن كان قد نشر في بعض الأحيان أبحاثاً قصيرة عن النشاط الإشعاعي. وتُرك الأمر لاثنتين من الباحثين الشباب لمتابعة اكتشافه وحمل ما ينطوي عليه من دلالات إلى القرن العشرين.

الطاقة من الذرات

قصة ماري كوري وأبحاثها مع زوجها بيير في تنقية المواد المشعة وتحديد هويتها معروفة للجميع. ولن أتحدث هنا عن أية تفاصيل. ولدت ماري في بولندا عام ١٨٦٧، وانتقلت إلى باريس عام ١٨٩١ وتزوجت بيير عام ١٨٩٥. وفي أعقاب اكتشاف بيكريل للنشاط الإشعاعي، قامت بتحليل العديد من الفلزات والأملاح والأكاسيد والمعادن، ووجدت أن ظاهرة النشاط الإشعاعي، وإن كانت نادرة، لا تحدث في اليورانيوم وحده. وأثبتت أن كمية النشاط الإشعاعي في عينة تحتوي على اليورانيوم تتوقف على كمية اليورانيوم في تلك العينة، وفي عام ١٨٩٨ حددت هوية عنصرى البولونيوم والراديوم، وهما عنصران مشعان كانا مجهولين قبل ذلك. وقد أدت هذه الاكتشافات إلى مشاركة ماري وبيير كوري لبيكريل في جائزة نوبل للفيزياء عام ١٩٠٣؛ تقديراً لأعمالهم الرائدة في مجال النشاط الإشعاعي.

كما كان لأبحاثهما عواقب مأساوية أيضاً. ففى ذلك الوقت، لم تكن أخطار النشاط الإشعاعي معروفة، وكانت الظروف التي يعملان في ظلها لا تصلح للعمل في أى معمل حديث. لا زالت مفكرة ماري كوري مشعة حتى الآن منذ التسعينيات من القرن التاسع عشر نتيجة تلوثها بالمواد التي كانت تستخدمها، بحيث يُعتبر لمسها خطيراً حتى في الوقت الحالي. ولقد عانى كل من بيير وماري كوري مما يُعرف حالياً بمرض الإشعاع. وساهم ذلك في وفاة ماري عام ١٩٣٤، ومن المحتمل أن يكون قد ساهم أيضاً في وفاة بيير بشكل غير مباشر عام ١٩٠٦؛ حيث إنه بعد فترة من المرض زلت قدمه أثناء عبوره الطريق وسقط تحت عجلات عربة تجرها الخيول.

وفي عام ١٩١١، حصلت ماري على جائزة نوبل للمرة الثانية، وكانت هذه المرة في الكيمياء، عن أبحاثها على الراديوم. ولا شك أن بيير كان سيشاركها الجائزة لو كان حياً، فقد أكدت ماري في خطاب تسلمها الجائزة، أنه بالرغم من أنها قامت بالبحث

الكيميائي الذي أدى إلى عزل الراديوم كملح نقي، فإن ذلك كان مرتبطاً بشكل أساسي وجوهري ببحثهما المشترك في مجال النشاط الإشعاعي.

غير أن ما قدمته ماري كوري قد تم تجاوزه حالياً فيما يتعلق بحل أسرار الشمس. وكان بيير كوري قد قاس في عام ١٩٠٢، مع مساعده ألبيير لابورد (Albert Laborde)، كمية الحرارة التي يولدها نشاط الراديوم. وفي العام نفسه شارك الفيزيائي الشاب أرنست راذرفورد (Ernest Rutherford) القادم من نيوزيلندا في أبحاث قياس الحرارة التي ينتجها الراديوم. وكان راذرفورد قد بدأ يبحث في تركيب الذرة، وفي استنباط قواعد الانحلال الإشعاعي.

ولد راذرفورد في نيوزيلندا عام ١٨٧١. وفي عام ١٨٩٥، أصبح أول خريج في جامعة أخرى (كلية كانتربري في نيوزيلندا) يتم قبوله كباحث في جامعة كامبريدج، وذلك بموجب قانون جديد بدأ تنفيذه آنذاك. وهناك، عمل في معمل كافنديش (Cavendish Laboratory) تحت رئاسة ج.ج. طومسون (J.J. Thomson) الذي كان على وشك اكتشاف أن أشعة الكاثود هي في الواقع جسيمات (تُسمى الآن إلكترونات). وتم إعلان اكتشاف طومسون في أبريل ١٨٩٧، وبذلك تم تقديم أول دليل على أن الذرة قابلة للانقسام. إن الإلكترونات - التي تحمل شحنة كهربائية سالبة - أصغر بكثير من الذرات، وأصبح واضحاً من أبحاث طومسون وعلماء آخرين في ذلك الوقت، أن الإلكترونات هي حرفياً - أجزاء يمكن فصلها عن الذرات. ومع أنباء أبحاث بيكريل الواردة من باريس، 'عجب في أن يحول راذرفورد، الذي يعمل في معمل طومسون، اهتمامه إلى دراسة عمليات الذرية. وفي عام ١٨٩٨، حصل على منصب في جامعة مكجيل (McGill) في دا وذلك نتيجة لوضعه المتميز كباحث في كامبريدج. وفي عام ١٩٠٧، أصبح أستاذاً للفيزياء في جامعة مانشستر بإنجلترا، وفي عام ١٩١٩ خلف طومسون كمدير لمعمل كافنديش. وبالرغم من أنه لم يعمل قط في مجال الفيزياء الفلكية مباشرة، فإن أعماله الرائدة في مجال النشاط الإشعاعي ساعدت بشكل رئيس في الكشف عن أسرار الشمس.

وقد أثار اكتشاف أشعة إكس والإلكترون وإشعاع بيكريل، اهتمام الباحث الشاب الذي عمل في كامبريدج من عام ١٨٩٥ إلى عام ١٨٩٨. وأثبت راذرفورد، في مجموعة من الأبحاث، أن الإشعاع الذي اكتشفه بيكريل هو خليط من نوعين من الأشعة،

وأسماهما: أشعة ألفا وأشعة بيتا. وبحلول عام ١٩٠٢، نجح باحثان آخران فى إثبات أن أشعة بيتا هى فى الواقع إلكترونات سريعة الحركة. وركز رادرفورد جهوده على أشعة ألفا، وبعد مجموعة طويلة من التجارب، تخللتها فترات من أبحاث أخرى، تمكن من أن يثبت أولاً أن أشعة ألفا هى أيضاً تيارات من الجسيمات، وفى عام ١٩٠٨ أثبت أن كل جسيم ألفا له كتلة تكافئ تقريباً كتلة أربع ذرات هيدروجين، لكنه يحمل وحدتين فقط من الشحنة الموجبة. ومن ثم، استنتج أن جسيم ألفا لا بد أن يكون مثل ذرة هليوم فقدت اثنين من إلكتروناتها. وفسر هذا الاستنتاج بشكل مُحكم اكتشاف آثار من غاز الهليوم فى المعادن التى تحتوى على يورانيوم، وهو ما كان يمثل لغزاً فى عام ١٨٩٥. وكان العالم البريطانى جوزيف لوكيير (Joseph Lockyer)، رائد استخدام التحليل الطيفى فى دراسة الشمس، هو أول من حدد هوية عنصر الهليوم فى عام ١٨٦٨، مستخدماً هذه التقنية التى تعتمد على تحديد هوية العناصر بواسطة نماذج من الخطوط المميزة التى تُحدثها تلك العناصر فى ألوان الطيف، تماماً كما تميز بصمة الأصابع إنساناً عن آخر. وعندما عثر لوكيير فى ضوء الشمس على خطوط طيفية لا تنتمى إلى أى عنصر معروف، افترض أنها قد نتجت عن عنصر غير موجود إلا فى الشمس فقط، ومن ثم أطلق عليه اسم هليوم نسبة إلى اسم إله الشمس الإغريقى هليوس. ولم يتوقع أحد العثور على الهليوم على الأرض. غير أن أبحاث رادرفورد أوضحت كيف أن النشاط الإشعاعى يؤدى إلى تكوين جسيمات ألفا التى تكتسب كل منها إلكترونين من البيئة المحيطة بها لتعطى ذرات هليوم.

كما فسر رادرفورد أيضاً، فى أبحاثه المشتركة مع فريدريك سودى (Frederick Soddy) فى كندا، كيف يكون النشاط الإشعاعى مصحوباً بتفكك الذرات، حيث تتحول ذرات العنصر المشع إلى ذرات عنصر آخر. وأثبت أن نصف الذرات فى عينة العنصر المشع ستتحلُّ بهذه الطريقة فى وقت محدد، مميز للعنصر المشع، يُسمى حالياً العمر النصفى للعنصر المشع. وهو ما يمثل نمطاً غريباً جداً للسلوك. فعلى سبيل المثال، تنحل نصف الذرات فى عينة الراديوم خلال ١٦٠٢ عام، وتتحول إلى ذرات غاز الرادون حيث تنبعث جسيمات ألفا وبيتا. وفى السنوات الألف والستمائة والاثنتين التالية تنحل نصف الكمية المتبقية من الراديوم (ربع الكمية الأصلية)، وهكذا دواليك. كيف «تعرف» ذرة بعينها أنه يتعين عليها أن تنحل، ومتى؟ لم تتوافر إجابات عن هذه الأسئلة إلا فى العشرينيات من القرن العشرين، عندما تم تطوير نظرية الكم للسلوك الذرى.

وفى غضون ذلك، سرعان ما انتقل رادرفورد من مجرد دراسة جسيمات ألفا إلى استخدامها لدراسة الذرة. كما شجع هانز جيجر (Hanz geiger) وأرنست مارسدن (Ernest Marsden) فى مانشستر، على دراسة الطريقة التى تتفرق بها جسيمات ألفا عند اصطدامها برقاقة من الذهب، واكتشفا أن أغلب جسيمات ألفا فى الشعاع تمر مستقيمة خلال الرقاقة كما لو لم تكن موجودة، غير أن عدداً قليلاً جداً من الجسيمات ترتد وكأنها اصطدمت بشيء صلب. وكانت هذه الأبحاث هى التى برهنت على أن الذرات تتكون من أنوية صغيرة جداً وذات كثافة، تحمل شحنة كهربية موجبة، وتحيط بها سحببات رقيقة من الإلكترونات. يستطيع جسيم ألفا السريع الحركة (الذى تحددت هويته الآن كنواة هليوم) المرور خلال سحابة الإلكترونات مثل طلقة بندقية خلال نسيج ورقى، لكن إذا حدث واصطدم الجسيم مباشرة بالنواة، فإن الشحنة الموجبة للنواة تتنافر عندئذ مع الشحنة الموجبة لجسيم ألفا وتجعله يرتد من حيث أتى.

لم يكن حصول رادرفورد على جائزة نوبل عام ١٩٠٨ مثاراً للدهشة نظراً لكل هذا النشاط العلمى الذى قام به. لكن المفاجأة أنه حصل عليها نتيجة «أبحاثه عن تحلل العناصر وكيمياء المواد المشعة». ما المفاجأة فى ذلك؟ لأن رادرفورد لم يكرس إلا وقتاً قليلاً جداً للكيمياء. أو بالأحرى، لم يكن لديه وقت لأى شيء آخر غير الفيزياء. ومع ذلك فقد قبل الجائزة عن طيب خاطر، وعلق فى الخطاب الذى ألقاه بعد مأدبة الغداء التى أقيمت احتفالاً به يوم حصوله على الجائزة قائلاً: «تعاملت مع العديد من التحولات المختلفة ذات الفترات الزمنية المتنوعة، ولكن أسرع تحول صادفته هو تحول أنا نفسى من عالم فيزياء إلى عالم كيمياء». وسواء أكان كيميائياً أم فيزيائياً، فلقد قدم رادرفورد إسهاماً كبيراً أيضاً لعلم الفلك، وذلك من خلال الفهم المتطور لمصادر طاقة الشمس، كما شارك فى حل اللغز الجيولوجى لعمر الأرض. ولاشك أنه كان سيعتبر ذلك، إثباتاً آخر بأن العلم أياً كان إنما يخرج من عباءة الفيزياء.

حل أزمة الطاقة

استفاد رادرفورد من الأعمال الرائدة فى مجال النشاط الإشعاعى فى التسعينيات من القرن الماضى، لكن إسهاماته الرئيسية انطلقت مباشرة من أعمال كورى ولابور. فعندما اكتشفت الطاقة الإشعاعية فى أول الأمر، كان الباحثون أمثال هنرى بيكريل ومارى كورى، يعتقدون أن الطاقة التى تنطوى عليها هذه الطاقة تأتى من الخارج، من

مصدر ما من الطاقة الخارجية وتستطيع بعض العناصر أن تمتصها وتحولها إلى طاقة إشعاعية قابلة للرصد. لكنهم لم يقدروا في ذلك الوقت كمّ الطاقة الكبير الذي ينطلق. وفى عام ١٩٠٠، أوضح بحث مشترك لرادرفورد ومككلنج (McClung) فى جامعة مكجيل، أن مختلف أنواع الأشعة تحمل بالفعل طاقة ضخمة - لكن هذا البحث لم يُحدث تأثيراً ملحوظاً.

الخطوة الرئيسية التالية قام بها اثنان من الباحثين الألمان، هما: جوليوس ألستر (Julius Elster)، وهانز جيتل (Hans Geitel). فى عام ١٨٩٨، أثبت الباحثان الشابان أن مصدر الطاقة فى النشاط الإشعاعى قد لا تكون واردة من الخارج. فلقد وضعوا مواد مشعة فى برطمانات مفرغة وزرعوها على عمق كبير تحت الأرض لوقايتها من تأثيرات أية طاقة من خارج كوكب الأرض، لكنهما وجدا أن النشاط الإشعاعى لهذه المواد لم يتضاءل. ومعنى ذلك أن الطاقة تأتى من الذرات نفسها. ولم يهتم أحد فى ذلك الوقت بهذه الأبحاث، مع أن الآراء اختلفت حول مصدر هذه الطاقة. فى عام ١٨٩٩، ذكر رادرفورد أن مصدر طاقة النشاط الإشعاعى «لغز»، فى حين كان طومسون يفترض دائماً أن الطاقة نتيجة عملية إعادة ترتيب داخلية لتركيب الذرة الذى لم يكن معروفاً بعد، ومثل أغلب علماء الفيزياء كان مهتماً لترك هذه المسألة للأجيال القادمة لكى تكتشف كيفية حدوث ذلك.

وفى عام ١٩٠١، برهن ألستر وجيتل على أن هناك نشاطاً إشعاعياً طبيعياً حتى فى التربة والهواء، وعثر متحمسون آخرون على النشاط الإشعاعى فى كل مكان، فى الجليد والمطر والبحيرات والصخور. وأخيراً، اكتُشف مصدر «جديد» للطاقة، مصدر يستطيع المحافظة على دفء الأرض، على الأقل، من الداخل لمدة أطول بكثير مما افترضته حسابات طومسون لكوكب يبرد بشكل مطّرد. وفى عام ١٩٠٣، ظهر أول افتراض بأن النشاط الإشعاعى مسئول، ولو جزئياً، عن حرارة الشمس وحرارة كوكب الأرض، وذلك على يد جورج داروين بجامعة كامبريدج وجون جولى بجامعة دبلن. وكان روبرت ستروت من الإمبريال كوليدج بلندن، سريعاً فى افتراضه أن وجود الراديويم والمواد المشعة الأخرى داخل الأرض يوفر مصدر حرارة يمكنه أن يمد المقياس الزمنى الجيولوجى بشكل لا نهائى. وإذا كان التطابق بين المقياس الزمنى لعمر الأرض وعمر الشمس الذى وضعه طومسون قد تحطم، فإن الوقت كان قد حان، بكل تأكيد، للبحث مرة أخرى عن كيفية حصول الشمس على طاقتها.

وكان المفتاح هو إدراك الكم الهائل من الطاقة التى تتضمنها عمليات النشاط الإشعاعى. لقد تجاهلت الأوساط العلمية أبحاث رادرفورد المشتركة مع مكدونلج فى هذا الموضوع، لكن ما إن برهن رادرفورد وسودى على أن النشاط الإشعاعى يتضمن تحول ذرات عنصر إلى ذرات عنصر آخر، بدا واضحاً أن «الانبعاث المستمر للطاقة من الأجسام النشطة ينبع من طاقة داخلية متأصلة فى الذرة»، كما قال رادرفورد فى الطبعة الأولى من كتابه «النشاط الإشعاعى». وفى ذلك الوقت، أى فى عام ١٩٠٣، كانت القياسات التى أجراها كورى ولابوردي سبباً فى وضع لغز الطاقة المنبعثة من النشاط الإشعاعى ككل فى مقدمة علم الفيزياء من جديد، مبرهنة بشكل أكثر إثارة على ما سبق وأشار إليه رادرفورد ومكدونلج فى عام ١٩٠٠.

وقبل حلول مارس ١٩٠٣، كان العلماء يعرفون أن هناك طاقة ما تتبعث من عناصر مثل اليورانيوم والراديوم خلال نشاطها الإشعاعى، غير أن أغلب هؤلاء العلماء كانوا ينظرون إلى كمية هذه الطاقة على أنها صغيرة بحيث لا تستحق الانشغال بها كثيراً. وبعد ذلك، قام كورى ولابوردي بقياس الحرارة المنطلقة من جرام راديوم، ووجدوا أن كمية الحرارة التى تنتج كل ساعة تكفى لتسخين ١.٢ جراماً من الماء من درجة الصفر المئوى إلى درجة الغليان. بمعنى آخر، فإن الحرارة المتولدة من جرام الراديوم تكفى لانصهار هذا الراديوم الموضوع فى الثلج خلال ساعة. وأحدث ذلك رعباً. إن انطلاق مثل هذه الطاقة الوافرة أمر لا يمكن التفاوض عنه وتركه للأجيال القادمة لكى تفسره، بل إن بعض الفيزيائيين توقعوا أن تكون عمليات النشاط الإشعاعى قد انتهكت قانون بقاء المادة، وهو القانون الأساسى لعلم الفيزياء. ومتجاهلاً أبحاث ألستر وجيتل، قال وليام طومسون، الذى أصبح لورد كلثن فى عام ١٩٠٤ الذى صادف بلوغه الثمانين من عمره، «إن الطاقة مستمدة من الخارج.. وإننى أغامر بأن أفترض أن موجات أثرية ربما هى التى تمد الراديوم بالطاقة بطريقة ما».

وفى غضون ذلك، كان رادرفورد يُجرى أبحاثه على هذه المشكلة فى كندا بالاشتراك مع هوارد بارنز (Howard Barnes)، الذى خلفه كأستاذ فى مكجيل بعد عودته إلى إنجلترا فى ١٩٠٧. وبعد ستة أشهر من أبحاث كورى ولابوردي، تمكنا من إثبات أن كمية الحرارة الناتجة أثناء النشاط الإشعاعى تعتمد على عدد جسيمات ألفا المنبعثة من المادة. تتبعث هذه الجسيمات الثقيلة نسبياً من الذرات المشعة (نحن نعلم الآن أنها

تنبعث من «الأنوية» المشعة) وتصطدم بذرات (أنوية) أخرى مجاورة لها، متخلية عن طاقتها الحركية في شكل حرارة. وسرعان ما حول راذرفورد اكتشاف هذا المصدر الجديد للطاقة إلى قضية تحديد عمر الأرض. وقال بعد ذلك عند عرضه لهذه الأفكار على جمهور من العلماء في المعهد الملكي في لندن عام ١٩٠٤:

«دخلتُ الغرفة، التي كانت نصف مظلمة، واكتشفت على الفور وجود لورد كلفن وسط الحاضرين وأدركت أنني في مأزق بالنسبة للجزء الأخير من الخطاب الذي يتناول عمر الأرض، حيث تتعارض رؤيتي مع رؤيته.. وحضرني إلهام مفاجئ، وقلت إن لورد كلفن حدد عمر الأرض «شريطة ألا يتم اكتشاف مصدر جديد للحرارة». وهذه النبوءة تنطبق على ما نتدارسه الليلة، الراديوم! انظروا ها هو الرجل العجوز يبتسم لى بابتهاج».

لقد أدرك راذرفورد أن النشاط الإشعاعي داخل الأرض يولد حرارة، وإن كان معدله لم يكن معروفاً حينذاك. وبالتالي لا يمكن اعتبار كوكب الأرض بعد ذلك جسمًا باردًا، كما أن المقياس الزمني لعمر الأرض الذي وضعه كلفن قد لا يكون سوى الحد الأدنى للعمر المفترض. وقد استغرق الأمر عدة عقود لكي يقتنع المتشككون، وتقف الفكرة على قاعدة صلبة عقب تطور فيزياء الكم في العشرينيات من القرن العشرين، لكن افتراض راذرفورد بأن باطن كوكب الأرض ظل ساخنًا - ساخنًا لدرجة الانصهار إلى وقتنا الراهن - نتيجة للنشاط الإشعاعي، أصبح راسخًا مثل أى شيء في العلم. غير أن «سطح» كوكب الأرض ظل دافئًا حتى الآن نتيجة حرارة الشمس في السماء، وليس نتيجة لكمية الحرارة الصغيرة جدًا نسبيًا التي تتسرب من باطن الأرض. كان واضحًا تمامًا، في بداية القرن العشرين، على الأقل بالنسبة لبعض علماء الفيزياء ذوى البصيرة الثاقبة، أن النشاط الإشعاعي يحمل كذلك مفتاح فهم طاقة الشمس، لكن طرح هذه الرؤية على أسس علمية سليمة استغرق أكثر من عشرين عامًا، حيث كان الأمر يتطلب تطور فيزياء الكم. لكن على الأقل، خلال هذين العقدين، تحدد عمر كوكب الأرض بناءً على قواعد مؤكدة.

موعد مع النشاط الإشعاعي

أدرك راذرفورد وسودى أن النشاط الإشعاعي هو نتيجة تحول ذرات عنصر إلى ذرات عنصر آخر. وعندما تنبعث جسيمات ألفا وبيتا من ذرة (نواة)، فإن ما يتبقى هو نوع مختلف من الذرات (الأنوية). ومن أهم مميزات هذه العملية أنها تحدث بمعدل

منتظم. وكما سبق أن أشرت، فإن نصف الكمية بالضبط، من أية عينة من عنصر مشع، «تتحل» إلى ذرات مختلفة في زمن محدد يُسمى العمر النصفى لهذا العنصر. لا يهم ما إذا كانت كمية العنصر المشع التي لديك كثيرة أو قليلة، فإن نصفها بالضبط يتحول إلى عنصر آخر خلال العمر النصفى له، ويتحول نصف ما تبقى أثناء عملية الانحلال الإشعاعى خلال العمر النصفى التالى، وهكذا.

إن كل عنصر مشع يُنتج، عندما ينحل، خليطاً مميزاً من العناصر هي نواتج الانحلال. وبينما يكون العمر الافتراضى لبعض العناصر المشعة قصيراً للغاية، أجزاء من الثانية، بحيث لا تظهر هذه العناصر قط طبيعياً على الأرض، فإن هناك عناصر أخرى مثل اليورانيوم والثوريوم والرادىوم يكون عمرها النصفى طويلاً جداً، فهذه العناصر لا تزال موجودة على الأرض بالرغم من تعرضها لعمليات الانحلال منذ نشوء النظام الشمسى.

وقد تتحل ذرات عنصر مشع إلى عنصر مستقر أو إلى عنصر مشع آخر. وإذا كان الناتج نفسه مشعاً، فإن العملية تتكرر إلى أن تتكون ذرات مستقرة. وبقياس نسب النواتج المميزة لعملية الانحلال فى الصخور حالياً، وبمقارنة هذه النسب مع نسب العناصر المشعة الأصل مثل اليورانيوم، يستطيع الفيزيائيون المسلحون بمعرفة الأعمار النصفية المناسبة للمواد المشعة المختلفة أن يستدلوا على عمر الصخور. إن المهم ليس هو الكميات الحالية من كل عنصر، ولكن النسب - النسبة بين كميات العناصر المستقرة مثل الرصاص، وكميات العناصر غير المستقرة مثل اليورانيوم والثوريوم.

إن أسلوب تحديد عمر الصخور بواسطة النشاط الإشعاعى يعتمد على المعرفة التامة بطريقة انحلال العناصر المشعة، والعناصر الناتجة عن هذا الانحلال. وقد قام بهذا العمل الطليعى راذرفورد وبرترام بولتوود (Bertram Boltwood) فى العقد الأول من القرن العشرين. حيث اهتم بولتوود، وهو كيميائى أمريكى، بالمشكلة بعد أن سمع راذرفورد يلقي محاضرة فى يال عام ١٩٠٤ يعرض فيها أبحاثه فى مجال النشاط الإشعاعى.

فى ذلك الوقت، كان راذرفورد ما زال يشك فى أن جسيم ألفا يكافئ بالضبط ذرة هليوم أنتزع منها إلكترونان، لكنه تمكن فى عام ١٩٠٨ من أن يثبت ذلك. وفى عام ١٩٠٤، استطاع سودى زميل راذرفورد القديم، والذي كان يعمل فى ذلك الوقت مع سير

وليم رامساي (William Ramsay) بجامعة لندن، تحديد معدل إنتاج عينة راديوم لعنصر الهليوم - وكان راذرفورد قد أدرك أن ذرات الهليوم تتكون نتيجة التقاط كل جسيم ألفا منبعث من انحلال الراديوم لاثنتين من الإلكترونات من البيئة حولها لتصبح ذرات هليوم. وتمكن راذرفورد، باستخدام معدل رامساي كدليل، من حساب عمر عينات من الصخور بقياس كمية الهليوم التي تحتويها هذه الصخور، مفترضاً أن كل ذرات الهليوم نتجت عن انحلال إشعاعي، وأن ذرة هليوم واحدة لم تهرب منذ تكوينها. وقدرت هذه الحسابات عمر قطعة صخر كانت لدى راذرفورد بأربعين مليون عام. غير أن العمر الحقيقي للصخرة، بافتراض أن بعض غاز الهليوم قد تسرب عبر الدهور، أكبر من هذا الرقم دون شك.

لكن بولتوود استخدم هذه الخلاصة للوصول إلى مرحلة أبعد، فاحصاً كل نواتج الانحلال الإشعاعي وليس الهليوم وحده؛ حيث عرف في عام ١٩٠٤ أن انحلال اليورانيوم ينتج راديوم وسرعة حدوث ذلك، وأثبت بعد عام أن انحلال الراديوم يعطى رصاصاً في النهاية. ومع نهاية عام ١٩٠٥، كان بولتوود انتهى من حساب أعمار عينات مختلفة من الصخور والتي كانت تتراوح بين ٩٢ مليون عام و ٥٧٠ مليون عام، واستخدم في حسابه قياسات تتضمن سلسلة يورانيوم - راديوم - رصاص. لكن كل هذه الأرقام كانت خاطئة للأسف. والسبب في ذلك أنها اعتمدت على قياسات لراذرفورد، اتضح فيما بعد عدم دقتها، وعلى العمر النصفى للراديوم الذي سرعان ما تمت مراجعته على ضوء دراسات لاحقة.

ومع ذلك، وضع راذرفورد وبولتوود أقدامهما على المسار الصحيح مع بداية عام ١٩٠٧. صحيح أن الأرقام التي توصلوا إليها لم تكن في دقة التقديرات الحديثة؛ ولكنها كانت كافية لإثبات وقوع خطأ جسيم في تقديرات طومسون لعمر الأرض. وأعطت التقديرات الجديدة (التي تضمنت، من بين مشكلات صغيرة أخرى، قياس آثار للراديوم تصل إلى ٢٨٠ جزءاً في المليار، مقارنة باليورانيوم، في عينات الصخور) أعماراً لصخور مختلفة تتراوح بين ٤٠٠ مليون عام وأكثر من مليار عام. وحتى مع التسليم بوجود بعض القصور المتبقى فيما يتعلق بدقة التقنيات المستخدمة، فإنهما أثبتا أن عمر الأرض يُقدر بحوالى مليار عام - أى حوالى عشرة أضعاف تقدير طومسون لعمر الأرض على الأقل.

لكن هذا لم يكن كافياً لإقناع المجتمع الجيولوجى بأخذ هذه التقديرات. مأخذ الجدل: إذ كانت التقنيات المستخدمة صعبة ومعقدة، ويبدو أن أحداً لم يهتم بمحاولة إعادة القياسات ومراجعتها بشكل مباشر. وحتى بعد أن ظهرت التقديرات الجديدة لعمر الأرض، استمر العديد من الجيولوجيين يجادلون بأن التسخين الإشعاعى لا يكفى لإطالة عمر الأرض كثيراً، وظل تقدير طومسون لعمر الأرض مقبولاً بشكل واسع.

اهتم بولتوود بأبحاث أخرى، ولم يول راذرفورد عمر الأرض بعد ذلك سوى اهتمام عابر، وترك القضية للجيل التالى ممثلاً فى آرثر هولمز (Arthur Holmes)، الذى حقق القبول العام للتقنية الإشعاعية فى تحديد عمر الصخر، وبالتالي الأرض.

ولد هولمز فى عام ١٨٩٠ ودرس فى الإمبريال كوليدج بلندن، وعاد إليها مرة أخرى للقيام بأبحاث بعد بعثة إلى موزمبيق عام ١٩١١. ثم ذهب إلى بورما فى عام ١٩٢٠ ليعمل كجيولوجى بترول، وعاد إلى إنجلترا عام ١٩٢٥ ليصبح أستاذاً لعلم الجيولوجيا بجامعة دورهام، حيث كان من الأنصار الأوائل لفكرة الانجراف القارى. وانتقل عام ١٩٤٣ إلى جامعة إدينبرج، وكتب كتاباً لا يزال يُعتبر مرجعاً حتى الآن وهو «مبادئ الجيولوجيا الفيزيائية»، وتوفى هولمز عام ١٩٦٥.

وخلال فترة وجوده فى الإمبريال كوليدج، حدد هولمز عمر العديد من عينات الصخور مستخدماً طريقة يورانيوم - رصاص، وقرر أن عمر أقدم هذه الصخور ١,٦ مليار عام. وفى عام ١٩١٣، كان هولمز أول شخص يستخدم التقنية الإشعاعية لتحديد عمر الحفريات، ويضع لأول مرة تواريخ دقيقة فى سجل الحفريات. كما قام، قبل الحرب العالمية الأولى وبعدها، بتقيح التقنية الإشعاعية وصقلها لتحديد عمر الصخور، أخذاً فى الاعتبار الاكتشاف الجديد القائل بأن العناصر قد تتخذ صوراً مختلفة (النظائر) تختلف أوزانها الذرية اختلافاً طفيفاً، وأنشأ مجموعة كبيرة من البيانات لدرجة أنها أجبرت حتى المتشككين، على الإقرار بأن التقنية الإشعاعية لتحديد عمر الصخور كشفت عن شيء مهم فيما يتعلق بعمر كوكب الأرض.

ومع بداية عام ١٩٢١، أوضحت مناقشة فى الاجتماع السنوى للجمعية البريطانية لتقدم العلم ظهور إجماع جديد: فقد أقر علماء الجيولوجيا والنبات والحيوان والفيزياء أن عمر الأرض بالفعل يصل إلى عدة مليارات من السنوات، وأن التقنية الإشعاعية هى أفضل مرشد لتحديد عمرها. وفى عام ١٩٢٦، جاء التصديق الأخير على ذلك، فى

شكل تقرير صدر عن المجلس القومى للبحوث التابع للأكاديمية القومية للعلوم فى الولايات المتحدة ليقر هذا التكتيك. وأجريت منذ ذلك الحين تنقيحات إضافية حددت همر أقدم صخور وجدت على سطح الأرض بـ ٢,٨ مليار عام، أما أقدم عينات صخرية من نيازك سقطت على الأرض من الفضاء، فإن عمرها ٤,٥ مليار عام، وأصبح مقبولاً الآن بشكل واسع أن النظام الشمسى، بما فى ذلك الشمس والأرض، قد تكون منذ هوالى ٤,٥ مليار عام.

وفى العشرينيات من القرن العشرين، بدأ أخيراً تحقيق تقدم حقيقى فى البحث عن مصدر طاقة الشمس. ففى اجتماع الجمعية البريطانية عام ١٩٢٠، الذى سبق الاجتماع الذى أقيم فيه هولمز زملاءه أخيراً بأنه يدرك تماماً حقيقة أقواله، اتضحت معالم الطريق بشكل لا ريب فيه. ولمعرفة سبب ذلك علينا أن نرجع قليلاً إلى عام ١٩٠٣، والضجة التى أثارته أبحاث كورى ولابورده عن الحرارة المنبعثة من الراديوم.

الطاقة النووية

أوضح إناء قهوة جامو تماماً مدى ضعف الحرارة التى ينتجها فى المتوسط كل جرام من الشمس، ولكن التجربة التى أجراها كورى ولابورده أوضحت مدى ضخامة الحرارة التى ينتجها جرام من الراديوم. وفى يوليو ١٩٠٣، أى بعد إعلان نتائج بحثيهما بأربعة أشهر، نشرت مجلة نيتشر (Nature) فرضية لعالم الفلك البريطانى وليم ويلسون تقول بأن الراديوم هو المصدر المحتمل لحرارة الشمس. إذ أثبت أن ٣,٦ جراماً فقط من الراديوم لكل متر مكعب من حجم الشمس، تكفى لتوفير كل كمية الحرارة التى تشع حالياً من سطح الشمس.

لكن هذا الافتراض الذى طرحه ويلسون أخفق فى أن يحدث انطباعاً قوياً فى الدوائر العلمية. غير أن جورج دارون (ابن تشارلز دارون) تناول الموضوع بعد ذلك ببضعة شهور، ولا غرابة فى ذلك، لأن جورج دارون تشكك طويلاً فى الجدول الكرونولوجى الذى وضعه كلثن للشمس والأرض، والذى كان يتناقض بشكل فاضح مع متطلبات نظرية النشوء. وعرض دارون الابن فى مجلة نيتشر أيضاً وجهات نظره فى النشاط الإشعاعى كمصدر لطاقة الشمس، لكنه كان معتدلاً تماماً فيما يدعيه، مفترضاً أنه يتعين ضرب المقياس الزمنى لكلثن فى عشرة أو عشرين ضعفاً فقط. وأثار ارتباط

اسم دارون بهذا الفرض اهتماماً كبيراً على الفور، أعاد إلى الأذهان الجدل الكبير بين كلثن وأنصار نظرية النشوء في القرن التاسع عشر، وتدفقت الخطابات على مجلة نيتشر. وبنهاية عام ١٩٠٣، ساد اعتقاد قوى بأن حرارة الشمس تتبع أساساً من الطاقة الإشعاعية. لكن حتى الباحثين المؤمنين بهذا الرأي كانوا يعرفون أنه مبنى بالكامل على التخمين، وأن العمليات الفعلية التي يتم من خلالها تحرير الطاقة من الذرات داخل الشمس لم تُعرف بعد. كانت الادعاءات سابقة لأوانها بشكل ما، وفي غياب نظرية راسخة لإنتاج الطاقة الشمسية بأية طرق أخرى، ظلت فرضيات كلثن الخاصة بالانكماش وبالمقياس الزمنى القصير باقية. واستمر الدفاع عن هذه الفرضيات بعد ذلك حتى بعشر سنوات.

كان الاعتراض الرئيس على فكرة أن الطاقة الإشعاعية هي التي تمد الشمس بالطاقة هو أن التحليل الطيفي لضوء الشمس، لم يبين أى أثر «للبصمات» المميزة لعناصر مثل اليورانيوم والراديوم. لكن راذرفورد كتب في ذلك الوقت أكثر التعليقات التي تميزت بنفاذ البصيرة، حيث افترض في عام ١٩١٣ أنه «يبدو ممكناً، في ظل الحرارة الهائلة للشمس، أن تحدث عملية تحول في عناصر عادية مثل تلك التي رُصدت في العناصر المشعة المعروفة»، ويواصل قائلاً: «إن الشمس قد تستمر في أن تشع حرارة بالمعدل الحالى لمدة أطول بكثير عن المدة التي تم حسابها اعتماداً على بيانات ديناميكية عادية».

في ذلك الوقت، كان راذرفورد يعرف من أبحاث ألبرت آينشتاين أن المادة والطاقة قابلتان للتبادل من خلال العلاقة الثانية:

الطاقة = الكتلة × مربع السرعة. والسرعة هنا هي سرعة الضوء، وهو ما كان يجهله كل من ويلسون ودارون قبل ذلك بعشر سنوات. وكان أول بحث لأينشتاين في النسبية الخاصة الذي أثبت فيه، بين أشياء أخرى، العلاقة بين الكتلة والطاقة، قد نُشر في عام ١٩٠٥. وفي العام نفسه، تناول في بحث آخر موضوع الطاقة الإشعاعية حيث قال: «إذا أطلق جسم طاقة L في شكل إشعاع، فإن كتلته تقل بمقدار L/C^2 . وقرر بشكل قاطع أن «كتلة الجسم هي مقياس لطاقته»، وافترض أنه «ليس مستحيلاً مع أجسام طاقتها متغيرة لدرجة عالية (مثل أملاح الراديوم) وضع النظرية بنجاح موضع الاختبار».

كان آينشتاين شديد التفاؤل، إلى حد بعيد، في أمله أن يتمكن أحد من قياس النقص في كتلة مادة مشعة أثناء انطلاق الطاقة منها. لقد اعتدنا قياس تدفق الطاقة في حياتنا اليومية بالوات أو الكيلووات. إن مصباحاً كهربائياً قوته الكهربائية مائة وات يشع طاقة تُقدر بمائة جول كل ثانية، بينما تقول لنا معادلة آينشتاين إنه يمكننا أيضاً قياس هذا التدفق الناتج عن كتلة مادة لا تزيد عن $(10)^{-12}$ جرام (أي علامة عشرية عليها ١٢ صفراً ثم جرام واحد). إن سخناً قوته الكهربائية مائة وات يمكنه أن يرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء من الصفر المئوي إلى درجة الغليان في غضون أربع ثوانٍ، أي بسرعة أكبر بكثير من الحرارة المنتجة من جرام راديوم، وبالتالي لا أمل في قياس التغير في كتلة الراديوم أثناء فقده للطاقة الإشعاعية بأي مقياس معقول للزمن.

وبناء على ذلك، يمكن اعتبار أن كتلة الشمس، التي تُكتب عادة $2 \times (10)^{33}$ جرام، تكافئ حوالى $2 \times (10)^{47}$ جول، أو حوالى $5 \times (10)^{46}$ سَعْر بالوحدات التي استخدمها جامو. ومع انبعاث $8.8 \times (10)^{20}$ سَعْر من الحرارة من الشمس كل ثانية يظل لديها عمر محتمل يُقدر بحوالى $6 \times (10)^{21}$ ثانية، أى $2 \times (10)^{12}$ عاماً (٢٠ تريليون عاماً)، وذلك حتى إذا كان ١٠٪ فقط من كتلتها هو الذى يمكن أن يتحول إلى طاقة حرارية. إن الشمس تشع طاقة تكافئ أربعة ملايين طن من المادة كل ثانية - لكن حتى لو كان ذلك مستمراً منذ أربعة مليارات من الأعوام، فإن كمية المادة «المفقودة» بهذه الطريقة لا تمثل سوى واحد على خمسة آلاف من كتلتها الأصلية. إن «الطاقة الذرية» تستطيع بالطبع أن تحل لغز الطاقة الشمسية، وتعطى المقياس الزمنى الذى يتطلبه التطور. لكن كيف يتم ذلك؟

إن الذى قام بالخطوة التالية نحو فهم مراكز الطاقة الهائلة في الشمس والنجوم، هو العالم البريطانى الرائد آرثر إدينجتون (Arthur Eddington)، الذى كان أول من طبق بنجاح القوانين الأساسية للفيزياء في معالجة ما يحدث «داخل» النجوم، وكان بذلك مبتكر موضوع علم الفيزياء الفلكية.

ولد إدينجتون في عام ١٨٨٢، وفي عام ١٩٢٠ أصبح أستاذاً لعلم الفلك بجامعة كامبريدج. وكان أيضاً من أشهر علماء ذلك الوقت، منذ أن كان مسئولاً عن تنظيم فريق العمل المعنى بقياس طريقة تأثير الشمس على انحناء ضوء النجوم، خلال كسوف الشمس الذى حدث عام ١٩١٩، كما أكد ما تنطوى عليه نظرية النسبية العامة

لآينشتاين من نبوءة - ومن المقولات الشائعة في ذلك الوقت أن إدينجتون هو الشخص الوحيد(*)، بالإضافة إلى آينشتاين، الذى فهم فعلاً نظرية النسبية العامة. ومع ذلك فلقد وجد الوقت للقيام بأعمال كثيرة إلى جانب ذلك، وخلال العشرينيات من القرن العشرين افترض، عدة مرات، أن مصدر الطاقة في الشمس قد يكون الفناء الكامل للمادة من أجل انطلاق الطاقة، أو انحلال العناصر الثقيلة عن طريق الانحلال الإشعاعى (الذى يُسمى حالياً انشطاراً)، أو تكون عناصر ثقيلة من عناصر خفيفة، وهى العملية التى نسميها حالياً (الاندماج)(**).

ففى عام ١٩٢٦ قال إدينجتون فى كتابه «التكوين الداخلى للنجوم»: «إن فناء البروتونات والإلكترونات، أو انحلال عناصر غير معروفة وذات نشاط إشعاعى مكثف هى مجرد افتراضات، لأن هذه العمليات يمكن أن تحدث أو لا تحدث. لكن تكوين الهليوم عملية «لا بد» أنها وقعت فى زمن ومكان ما - وأين يُحتمل أن يحدث ذلك إلا فى النجوم؟ لماذا أشار إدينجتون إلى تكوين الهليوم، وليس إلى أى عنصر آخر؟ السبب فى ذلك ما اكتشفه فرانسيس أستون (Francis Aston) الذى كان يعمل فى معمل كافنديش بجامعة كامبريدج.

كان أستون قد طور أداة، سُميت مَرَسَمَةُ الطيف الكتلى (السبكتروجراف)، تستطيع تحديد الكتل الذرية لما يختاره من عناصر. وتعتمد هذه التقنية، التى لا زالت مستخدمة حتى الآن، على قياس طريقة انحراف الأيونات الموجبة (وهى ذرات فقدت إلكترونات أو أكثر) عند تعرضها لمجال مغناطيسى. ويتوقف الانحراف على سرعة الجسيمات

(*) إحقاقاً للحق فإن العالم المصرى الكبير د. على مصطفى مشرفة الذى كان أصغر عالم يحصل على الأستاذية من جامعة القاهرة رغم أنه لم يكمل الثلاثين من عمره كان أول عالم فيزيائى يوضح العلاقة بين المادة والإشعاع ويضع مقاييس للقياس فى الفراغ. ورثاه آينشتين نفسه قائلاً «إن وفاته خسارة للعالم أجمع» وتذكر المراجع الأمريكية أنه أحد سبعة علماء يعرفون دقائق تفتت الذرة وكان آينشتاين يتابع أبحاثه بنفسه ومن تلميذاته النابغة المصرية سميرة موسى التى عرفت فى الغرب باسم ميس كورى المصرية (المراجع).

(**) يمكن لكل من الانشطار والاندماج أن يُنتجا طاقة، ويحدث ذلك، كما نعرف الآن، لأن أنوية الذرات فى المدى المتوسط للكتل هى أكثر الصور استقراراً وأقلها طاقة. والسبب يرجع إلى تفصيلات نظرية الكم التى لا مجال للخوض فيها هنا. لكن أشد الأنوية استقراراً هى نواة عنصر الحديد - ٥٦، وبلغة الطاقة نقول إن جميع الأنوية الأخرى تميل إلى التحول إلى هذه الحالة الثابتة سواء بالانشطار كما فى حالة الذرات الثقيلة كاليورانيوم، أو بالاندماج كما فى حالة الذرات الأخف مثل الكربون أو الأكسجين أو الهيدروجين. ومن المقارنات الشائعة فى هذا الشأن أن ننظر إلى الحديد وكأنه قاع لودى الطاقة الذى تترتب على أحد جانبيه الذرات الخفيفة، وعلى الجانب الآخر الذرات الثقيلة. ويفرض توافر الظروف المناسبة - وهذا ما يوفره باطن أى نجم - فإن الأنوية الأخرى تتحرك لأسفل الوادى إلى أدنى نقطة فيه التى يمثلها الحديد.

وشحنتها وكتلتها. ونظراً للأهمية الكبيرة لهذه التقنية وفوائدها الجمة، فقد حصل عنها أستون على جائزة نوبل فى عام ١٩٢٢. وكان أستون قد قام بتشغيل أول مرسمة طيف كتلى فى عام ١٩١٩، واكتشف بواسطتها أن كتلة ذرة الهليوم أقل بنسبة ٠,٨ ٪ من كتلة أربع ذرات هيدروجين. واكتشف أوزاناً ذرية أخرى تعادل «تقريباً»، وليس بالضبط، مضاعفات الوزن الذرى للهيدروجين. وكان «عدم التساوى» التام هذا بمثابة المفتاح لإدينجتون ليحل لغزاً اقترَب أوان حله بعد أكثر من قرن مضى.

كان الكيميائى الإنجليزى ولیم پروت (William Prout) قد افترض، فى عام ١٨١٦، أن الوزن الذرى لأية ذرة هو المضاعف الدقيق للوزن الذرى للهيدروجين، غير أن بحثاً لاحقاً أثبت للكيميائيين أن القاعدة لا تنطبق بدقة، حيث إن الأوزان التى حددوها للذرات الأخرى تقارب بدرجة كبيرة المضاعفات الكاملة لوزن ذرة الهيدروجين.

الأمر المحير: لماذا ظل هذا الوضع قائماً على امتداد القرن التاسع عشر ووصولاً إلى القرن العشرين. لا يستطيع الكيميائيون قياس الأوزان الذرية إلا بدراسة سلوك عدد كبير من الذرات فى التفاعلات الكيميائية، وأن يقارنوا، مثلاً، وزن الأكسجين الداخلى فى التفاعلات مع وزن معين من الكربون أو الهيدروجين. ولا بد أن يكون ما يحصلون عليه من أوزان هو دائماً متوسط أوزان جميع الذرات المشاركة فى التفاعلات. وفى عام ١٩١٣، قام فريدريك سودى، الذى عمل مع رادرفورد فى كندا بتفسير هذا التناقض، وكان يعمل آنذاك بجامعة جلاسجو، حيث أدخل فكرة النظائر، وهى ذرات «لنفس» العنصر الكيميائى لكنها تختلف اختلافاً طفيفاً فى أوزانها الذرية. فإذا احتوت عينة لعنصر ما على خليط من الذرات المختلفة قليلاً فى أوزانها الذرية والمتطابقة من حيث خواصها الكيميائية، فإن التجارب ستشير إلى «وزن ذرى» وحيد، قد يكون فى هذه الحالة متوسط الأوزان الذرية الفعلية، وبالتالي لن يكون بالضرورة مضاعفاً دقيقاً للوزن الذرى للهيدروجين، حتى وإن كان وزن كل نظير على حدة يساوى مضاعفاً دقيقاً للوزن الذى للهيدروجين. ولقد عالجت مرسمة سودى للطيف عدداً كبيراً من الذرات، ووجدت أن ذرات كل نظير، رغم تساويها فى الشحنة والسرعة، فإن درجة انحرافها فى المجال المغناطيسى تكون مختلفة، بحيث تظهر مستقلة. واستطاع سودى قياس الوزن الذرى لكل نظير، وحساب متوسط الأوزان الذرية للنظائر للحصول على «الأوزان الذرية» بالضبط التى تحددها التجارب الكيميائية.

لم يكن لدى سودى، فى ذلك الوقت، الصورة الكاملة للنظائر، إذ لم يكن يعرف كيف يمكن أن يكون لذرتين وزن ذرى مختلف وخواص كيميائية متماثلة. لم يتسن فهم ذلك إلا فى عام ١٩٣٢، عندما اكتشف جيمس شادويك (James Chadwick) النيوترون، وهو جسيم يماثل البروتون لدرجة كبيرة جداً لكنه لا يحمل شحنة كهربية. إننا نعلم الآن أن هناك مثلاً نظيرين للهليوم، الهليوم - ٣ النادر، الذى يحتوى فى نواة ذرته على ٢ بروتون ونيوترون واحد، والهليوم - ٤ العادى، الذى تضم نواة ذرته ٢ بروتون و ٢ نيوترون (نواة ذرة الهليوم - ٤ هى جسيم ألفا). لم يكن إدينجتون فى عام ١٩٢٠ يعلم شيئاً عن النيوترونات، وكان يعتبر ما نعرفه الآن على أنه بروتون هو ببساطة نواة ذرة الهيدروجين. لكنه، مثل معاصريه، كان يقدر تماماً ما أكدته أبحاث سودى مرة أخرى لفكرة اعتبار كافة كل الذرات، مضاعفات لذرة الهيدروجين(*)، وربما تكونت بالتصاق ذرات الهيدروجين، بشكل ما، معاً. وأبدى إدينجتون على الفور اهتماماً كبيراً باكتشاف أستون القائل بأن وزن نواة ذرة هليوم - ٤ «أقل» من مجموع أوزان أربع أنوية هيدروجين «وُزنت» كل على حدة.

الطاقة الشمسية

فى أغسطس ١٩٢٠، عقدت الجمعية البريطانية لتقدم العلم اجتماعها السنوى فى كارديف. واختار إدينجتون أن يتحدث إلى الحاضرين فى موضوع الطاقة الشمسية، وبدأ بدق بعض المسامير فى نعش فرضية الانكماش:

«إن جمود التقاليد وحده هو الذى أبقى فرضية الانكماش على قيد الحياة - أو بالأحرى جثة غير مدفونة. ولكن إذا قررنا دفن الجثة، فلنعترف بحرية بالوضع الذى نحن فيه. إن النجم يستمد الطاقة، بطرق غير معلومة لنا، من خزان طاقة ضخم. ويصعب أن يكون هذا الخزان شيئاً آخر غير الطاقة المستمدة من الجسيمات الذرية التى توجد - كما هو معروف - بوفرة فى كل المواد. إننا نحلم أحياناً أن يعرف الإنسان ذات يوم كيف يحررها ويسخّرها لخدمته. إن مخزون تلك الطاقة غير قابل للنفاذ

(*) البروتون نفسه لم يُعرف بهذا الاسم إلا فى عام ١٩٢٠ والفضل فى تسميته يعود لراذرفورد فى بحث نُشر فى مجلة نيتشر (الجزء ١٠٦، ص ٢٠٠). ومن المستحيل عملياً الخوض فى قصة تطور الفيزياء الفلكية فى العشرينيات من القرن العشرين دون التطرق إلى المفاهيم التى لم تصبح عملة رائجة إلا فى السنوات الأخيرة فقط!

تقريباً، إذا أمكن فقط سحبها واستعمالها. إن مخزون الطاقة في الشمس يكفي للإبقاء على ما تشعه من حرارة لمدة ١٥ مليار عام.

لقد برهن أستون بشكل قاطع ومقنع أن كتلة ذرة الهليوم أقل من مجموع كتل ذرات الهيدروجين الأربع الداخلة في تكوينها - وقد اتفق الكيميائيون معه في ذلك. هناك نقص في الكتلة أثناء عملية التوليف يصل إلى جزء لكل ١٢٠ جزءاً، فالوزن الذري للهيدروجين ١.٠٠٨ في حين أن الوزن الذري للهليوم هو ٤.٠. ولن أطيل في هذا البرهان المتقن حيث يمكنكم بلا شك سماعه منه شخصياً. والآن لا يمكن للمادة أن تَفْنَى والنقص يمكن فقط أن يمثل كتل الطاقة الكهربائية التي تحررت في عملية التحول. ونستطيع بالتالي أن نحسب في التو كمية الطاقة التي تحررت عندما يتكون الهليوم من الهيدروجين. وإذا كانت ذرات الهيدروجين تمثل ٥٪ من كتلة نجم، وهذه الذرات تتحد تدريجياً لتكوين عناصر أكثر تعقيداً، فإن إجمالي الحرارة المطلقة ستكون أكثر من كافية لاحتياجاتنا، ولن نحتاج بعد ذلك إلى البحث عن مصدر طاقة النجوم.

وإذا كانت طاقة جسيمات الذرة الموجودة في النجوم تُستخدم بحرية للحفاظ على أتونها الهائل، فإن ذلك قد يقربنا قليلاً من اكتمال حلمنا بالتحكم في هذه القوة الكامنة لخير الجنس البشري - أو لانتحاره»(*).

يصف سوبرهمانين شندرسغار(**) في كتابه «إدينجتون» هذه التعليقات بأنها «من أكثر المقولات بصيرة في كل ما كُتب في مجال الفلك». وهذا التعليق رغم مجيئه متأخراً، إلا أنه على الأقل حقيقى جزئياً. لم يتمسك إدينجتون نفسه بقوة بفكرة الطاقة الناتجة من تحول الهيدروجين إلى هليوم، بل فكر أيضاً في إمكانية الفناء الكامل للبروتونات والإلكترونات وتحولها إلى طاقة، وهو ما نعرف الآن أنه كان منعطفاً خاطئاً. ولسنوات، ظلت فكرة التحول مجرد احتمال يقبل البحث. وعلى المستوى الاجتماعي، كان إدينجتون من جماعة الكويكرز، ولقد واجه بعض الصعوبات مع السلطات

(*) من مجلة المرصد observatory، الجزء ٤٣، ص ٢٥٢ استشهد بها شندرسغار، في كتابه إدينجتون ص ١٧. كما أقر إدينجتون بنفسه، لقد أشار جين بابتيست الفرنسي أيضاً إلى ما تضمنته اكتشافات أستون في ١٩٢٠ (النشرة الشهرية، الجزء ٢١، ص ١١٣ الذي أورده إدينجتون في كتابه التكوين الداخلي للنجوم، ص ٢٩٦) لكنه لم يطور أبداً فهماً كاملاً عن البنية النجمية، ومضامين هذا الانطلاق للطاقة دون الذرية كما استملأ إدينجتون.

البريطانية بسبب معتقداته الداعية للسلام أثناء الحرب العالمية الأولى، وكان يرى أن تأثيرات معادلة لاينشتاين ليست مقصورة على إنتاج الطاقة في النجوم، لكنها تتضمن كذلك نعمة لسكان الكرة الأرضية.

نجوم بسيطة

لقد ضمّن إدينجتون أبحاثه في مجال الفلك في واحد من أهم الكتب العلمية، ألا وهو كتاب «التكوين الداخلي للنجوم»، الذي كتبه ما بين مايو ١٩٢٤ ونوفمبر ١٩٢٥، وصدر في عام ١٩٢٦. ولا يزال هذا الكتاب حتى يومنا هذا، كتاباً أساسياً في مجال الفيزياء الفلكية. يعرض إدينجتون في هذا الكتاب القواعد الأساسية التي يحتاجها الباحث في تطبيق الفيزياء على دراسة تكوين النجوم - كيف تتوازن قوة الجاذبية نحو الداخل مع الضغط نحو الخارج الذي يمارسه قلب النجوم الساخن، وكيف أن الكثافة والحرارة تتغيران من مكان لآخر داخل النجم، والعلاقة بين كتلة النجم ودرجة جلالته، أي المقدار النسبي للضوء الذي يشعه، وغير ذلك كثير. رغم انزلاقه أيضاً في بعض المنعطفات الخاطئة، مثل فكرة فناء المادة في النجوم. ولن أسهب في الحديث عن ذلك هنا، ولكنني سأركز على التطورات الرئيسية التي أدت في نهاية المطاف إلى تحديد هوية مراكز الطاقة الهائلة.

إن أحد أهم ما جاء به إدينجتون هو أننا «لا» نحتاج لكي نصف ما أسماه «بشيء بسيط جداً» مثل النجم أن نعرف من أين يستمد هذا النجم طاقته. إن قوانين الفيزياء تخبرنا أن كرة من الغاز تحتوي على قدر معين من المادة وتتماسك بتأثير الضغط داخلها يجب أن يكون لها حجم معين وأن تشع كمية معينة من الطاقة. لا يهم من أين تأتي هذه الطاقة - فكما رأينا، بدون تزود بالطاقة سينكمش النجم ببطء، لكن الطريقة التي تتصرف بها مادة النجم لا تتغير أياً كان مصدر الطاقة داخله. غير أن الأمر يدعو للدهشة بالنسبة لغير الفيزيائيين، أن تكون القوانين العلمية التي تصف طبيعة النجم هي نفسها قوانين سلوك ما يُسمى «بالغازات المثالية» - بالرغم من أن «متوسط» كثافة الشمس يُقدر حوالى مرة ونصف كثافة الماء، وأن الكثافة في قلب الشمس تزيد عدة أضعاف على كثافة الرصاص. وهو ما لا نفكر فيه عادة على أنه

«غاز». لكن حقيقة أن هذه المادة الكثيفة تتصرف مثل الغازات، ترتبط مباشرة بالطريقة التي يجعل بها الضغط النجم يتماسك في مواجهة الجذب إلى الداخل الذي تمارسه قوة الجاذبية.

من السهل فهم سبب سخونة باطن النجم. فكما رأينا، عند تكون النجوم تتحرر طاقة الجاذبية في شكل حرارة، كما أن تعرض أى شيء للانضغاط يؤدي إلى رفع درجة حرارته، مثل الهواء في مضخة الدراجة (والتأثير المعاكس أن تنخفض درجة حرارة الغازات عند تمددها، وهو أساس عمل الثلاجة المنزلية). ويرجع جزء من الضغط داخل النجم والذي يجعله يتماسك، إلى تصادم الجسيمات داخله بسرعات عالية - ضغط الغاز. لكن إذا تصادمت الجسيمات بقوة كافية (وإذا كانت ساخنة بدرجة كافية)، فإن الإلكترونات سالبة الشحنة تنفصل عن الذرات في هذه العملية، وتتجول بحرية خلال النجم. وتُسمى الذرات التي فقدت إلكترونات «أيونات»، وهي تحمل شحنة موجبة، ويُسمى خليط الأيونات والإلكترونات «بلازما».

وذلك ما يجعل داخل النجم يتصرف كغاز مثالي. تتكون الذرات من نواة صغيرة جداً تحيط بها سحابة أكبر بكثير من الإلكترونات. وإذا افترضنا لتوضيح ذلك أن حجم نواة الذرة يساوى حجم حبة بازلاء، فإن سحابة الإلكترونات تكون بحجم قاعة موسيقى. في المادة الصلبة تتلامس الذرات (سحابات الإلكترونات)، ولا تتحرك. أما في السوائل، فإن سحابات الإلكترونات في الذرات تكاد تتلامس مع بعضها البعض، إلا أن الذرات الفردية لديها طاقة كافية لكي تتزلق على بعضها البعض. وأما كثافة المادة الصلبة عند نقطة انصهارها، فتكاد لا تزيد على كثافة السائل الذي تنصهر إليه. لكن في الغازات، تكون لدى الذرات طاقة كبيرة بحيث تكاد تطير بحرية خلال الفراغ البيني، وقد تصطدم بذرة أخرى أو تحل محلها. ومن ثم، فإن كثافة أى غاز تقليدي أقل بكثير من كثافة السائل الذي تتبخر عنه. إن أنوية الذرات أصغر بكثير من الذرات، لكن عندما تتجرد الأنوية الذرية من السحابة الإلكترونية لتكوين البلازما، فإن الأنوية لا تلامس بعضها البعض أبداً لكن المسافات تنضغط بينها جداً حتى تصل كثافتها إلى أضعاف كثافة الرصاص، لكنها تظل تطير بحرية وتتصرف مثل جسيمات الغاز. يمكنك أن تضع «كمية كبيرة» من حبوب البازلاء. في قاعة كارنيجي الموسيقية دون أن تلامس إحداها

الأخرى. إن أنوية الذرات تطير بحرية داخل النجم، وقد تصطدم أحياناً مع بعضها البعض. وهى عندما تقوم بذلك، فإنها تتبع بالضبط قوانين الفيزياء التى تصف الغازات المثالية.

أما فى حالة مجموعة صغيرة نسبياً من المادة، مثل الكوكب، فإن الذرات تبقى كذرات ويكون الضغط فى المركز كافياً لجعل الطبقة الخارجية متماسكة حتى بدون أن تتكون بلازما، وتتصرف المادة فى هذه الحالة كمادة صلبة أو سائلة أو غازية تبعاً لمكوناتها ودرجة الحرارة والضغط. لكن إدينجتون أدرك، أنه فى حالة كرات أكبر من المادة تبدأ أشياء أكثر إثارة فى الحدوث عند درجات حرارة أعلى وضغط داخلى أكبر، بحيث تصبح عملية التأين كبيرة. فبمجرد تكوّن البلازما تصبح التأثيرات الكهرومغناطيسية مهمة. إذ تقوم الجسيمات المشحونة ذات الحركة السريعة بتحويل بعض طاقتها الحركية إلى إشعاع الكهرومغناطيسى، ويتفاعل هذا الإشعاع بدوره مع الجسيمات المشحونة، خاصة الإلكترونات، فيتم امتصاصه ثم انبعاثه مرة أخرى. ويكون تأثير كل ذلك على البلازما هو ازدياد الضغط إلى الخارج، أى ضغط الإشعاع، الذى يساعد على تماسك كرة المادة - التى تمثل فى حالتنا النجم - ضد جذب قوة الجاذبية. إذاً، إن ما يجعل النجم اللامع المستقر يتماسك، هو تضافر قوتين: ضغط الغاز وضغط الإشعاع.

لكن دعونا الآن نتأمل النقيض الآخر. ولننتصور كرة ضخمة من الغاز تحاول أن تتشكل فى هيئة نجم. سترتفع درجة الحرارة فى المركز إلى درجة هائلة بحيث يتكون ضغط إشعاعى هائل يفجر النجم إلى أشلاء.

إذاً، هناك ثلاثة مصائر ممكنة لكرة غاز تنهار تحت قوة جاذبيتها ذاتها، وذلك وفقاً لكتلتها. فقد تصبح كرة صغيرة باردة لا تتماسك إلا بقوة ضغط الغاز، أو قد تصبح نجماً متوهجاً يتماسك بفضل خليط من ضغط الغاز وضغط الإشعاع، أو تصبح كرة غازية شديدة الحرارة قصيرة العمر سرعان ما تنفجر تحت تأثير ضغط الإشعاع. وبالتالي لا توجد نجوم إلا فى نطاق كتل معينة، بحيث يشترك ضغط الغاز وضغط الإشعاع بشكل متساوٍ تقريباً فى الإبقاء على كرة الغاز ضد شد قوة الجاذبية. ولا يكون ذلك صحيحاً إلا فى نطاق محدود من الكتل.

وهو بالتحديد هذا النطاق من الكتل الذي يعتمد اعتماداً طفيفاً على مكونات النجم، لأن ذلك يؤثر على عدد الإلكترونات المحيطة التي تتفاعل مع الإشعاع. وكما سنرى فى الفصل التالى، وقع إدينجتون، فى كتابه المهم، فى استنتاج خاطئ حول تكوين الشمس، غير أنه خطأ تافه مقارنة مع قوة اكتشافه لأهمية تطبيق قوانين الغازات على النجوم. حيث يطلب إدينجتون فى كتابه «التكوين الداخلى للنجوم» من القارئ تصوّر مجموعة من كرات الغاز مختلفة الأحجام، بادئاً بعشرة جرامات ثم مائة جرام ثم ألف جرام، وهكذا. وتحتوى الكرة رقم (ن) على (١٠)^٩ جرام من المادة. وطبقاً لقوانين الغازات، فإن الكرات التى يتضافر فيها ضغط الإشعاع وضغط الغاز لإنتاج نجوم مستقرة ومتوهجة هى «فقط» الكرات التى تحمل أرقاماً من ٢٢ إلى ٣٥ فى السلسلة(*) . وعندما ننظر إلى الكون يثبت لنا صدق هذا التنبؤ الفيزيائى النظرى. فإن كتلة الكرة رقم ٣١ تساوى خمسة أضعاف كتلة المشتري وهو أكبر كوكب فى مجموعتنا الشمسية. وتساوى كتلة الكرة ٣٢، (١٠)^{٢٢} جرام، أى حوالى واحد على عشرة من كتلة الشمس، وتبلغ كتلة الكرة ٣٥ مائة ضعف كتلة الشمس. ومعنى ذلك أن النجم لا يستطيع أن يبدأ فى التوهج إلا إذا كان أكبر من المشتري وتساوى كتلته عُشر كتلة الشمس تقريباً، لكن إذا زادت كتلته على مائة ضعف كتلة الشمس، فإن قوة الجاذبية تكون غير كافية لتجعله يتماسك ويقاوم انفجار طاقة الإشعاع المتجه من قلبه الساخن إلى الخارج، ومن بين العدد اللانهائى من كرات الغاز التى نستطيع تخيلها تتطابق فقط مع توصيف النجوم الكرات من ٣٢ إلى ٣٥ فى قائمة إدينجتون. وأخبر إدينجتون علماء الفلك، مستخدماً الفيزياء النظرية، مدى جلاء النجوم ذات الكتل المختلفة وكمية الضوء التى يتعين أن يشعها كل منها. وتقع شمسنا فى أسفل نهاية نطاق هذه النجوم، ممثلة للقوانين الأساسية لفيزياء الغازات، أى كان مصدر طاقتها.

وقد تطابقت حسابات إدينجتون أيضاً مع اكتشافات تمت من خلال مراقبة نجوم أخرى. وكان لاكتشاف العلاقة بين كتلة النجم وجلائه(**) (النجوم ذات الكتلة الصغيرة تكون باهتة، بينما تكون النجوم ذات الكتلة الأكبر أكثر جلاءً) تأثير كبير فى تطوير وفهم كيف تعمل النجوم. لكن إدينجتون وجد أيضاً أن كل نجوم «السلسلة الرئيسة» - وهى

(*) استعنت هنا بالصورة الحديثة لحساب إدينجتون باستخدام أعداد ملائمة للتكوين الراقى للشمس.

(**) المقدار النسبى لضياية النجم دون اعتبار لبعده.

المجموعة التى تنتمى لها شمسنا - يجب أن تكون درجة حرارتها المركزية واحدة، بغض النظر عن كتلتها وجلاتها. لكن الرقم الذى استنتجته إدينجتون لهذه الحرارة المركزية الحاسمة، وهو ٤٠ مليون درجة، كان عالياً جداً. ومنذ أبحاثه الرائدة، أدخلت تحسينات على الحسابات الفيزيائية لقلب النجوم بطرق صغيرة متعددة، والرقم المقبول حالياً هو حوالى ١٥ مليون درجة(*) . لكن هذا التعديل الطفيف نسبياً لا يؤثر على اكتشافه المهم أن كل نجوم السلسلة الرئيسة «تتحرق» فى مركزها طاقة عند درجة حرارة «واحدة».

وكما أشار إدينجتون فى كتابه، عند تناوله الطاقة المنبعثة من نجمين معينين (ص ١٧٩) «عندما نتناول هذه القيم بصفاتها قيماً ظاهرية، فهناك حاجة إلى مخزون طاقة ٦٨٠ إرج لكل جرام (بالنسبة للكوكبة الكوثل)(**) ، أو إلى مخزون طاقة ٠,٠٨ إرج لكل جرام (فى كوكبة كروجر ٦٠)، فإن درجة حرارة النجم يجب أن ترتفع إلى أربعين مليون درجة مئوية للحصول على هذه الطاقة. وعند درجة الحرارة تلك يسحب النجم من مدد لا نهائى من الطاقة». وقام بعد ذلك بتطوير هذا المفهوم فى جزء لاحق من الكتاب (ص ٢٢٩). إن النجم «سينكمش حتى تبلغ درجة حرارته المركزية أربعين مليون درجة، وعندئذ يتحرر فجأة المخزون الرئيس للطاقة.. لا بد لأى نجم من نجوم السلسلة الرئيسة أن يَبْقَى على قدر كافٍ من مادته عند درجة حرارة أعلى من درجة الحرارة الحرجة لتوفير المدد المطلوب».

ويُعد ذلك مثلاً جَمِلاً لعملية التغذية الارتجاعية التى تحافظ على التوازن فى مثل هذا النجم. لنفترض أن النجم - أى نجم - انكمش أكثر قليلاً. سترتفع درجة حرارة مركزه، نظراً لتحويل طاقة الجاذبية إلى حرارة، وبالتالي سيتم تحرير مزيد من الطاقة المستمدة من جسيمات الذرة، والتى قد تَوْدَى إلى تمدد النجم، مستعيداً بذلك توازنه. أو لنفترض أن النجم تمدد قليلاً لسبب ما. إن ذلك سيجعله أقل حرارة فى الوسط، مما يبطئ تحرير الطاقة ويجعله ينكمش مرة أخرى. إن النجوم لديها ثرموستات(***) داخلية يحفظ مراكزها عند درجة الحرارة المناسبة لتحرير الطاقة دون الذرية، أى الخاصة بالجسيمات الذرية. وهكذا تمارس الفيزياء مهامها بشكل

(*) تلك بالطبع درجات كلفن، مقاسة من الصفر المطلق، أى - ٢٧٣م.

(**) كوكبة جنوبية، والإرج هو وحدة الشغل المطلقة فى النظام المترى. (المراجع).

(***) أداة أتوماتيكية لتنظيم الحرارة. (الترجم).

محكم. لكن ظلت لدى إدينجتون مشكلة كبرى، ألا وهي إقناع أصدقائه من علماء الفيزياء بأن هذه هي فعلاً الطريقة التي تعمل بها النجوم «وتكمن الصعوبة في أن درجة حرارة النجوم من وجهة نظر الفيزيائيين منخفضة بشكل مضحك. فهم يعتبرون أن النجوم عملياً عند درجة الصفر المطلق، لأن أربعين مليون درجة تُعتبر، بالنسبة للعمليات النووية، كمية صغيرة تكاد لا تستحق الاهتمام بها». (التكوين الداخلي، ص ٢٠٠).

المشكلة أن الفيزيائيين في منتصف العشرينيات من القرن العشرين أجروا حسابات أثبتت أن الطاقة المطلوبة لكي تجعل الأنوية تتفاعل مع بعضها البعض في المقام الأول هي أكثر بكثير من طاقة حركة الجسيمات داخل الشمس عند درجة الحرارة التي حسبها إدينجتون. مبدئياً، هناك وفرة متاحة من الطاقة النووية، لكن كيف تستطيع النجوم تحرير هذه الطاقة عند درجة حرارة منخفضة لهذا الحد؟ كان ذلك، في منتصف العشرينيات من القرن العشرين، هو الاعتراض الرئيس ضد نظريات إدينجتون الخاصة بتوليد الطاقة النجمية، لكنه تشبث بنظريته بقوة. فلقد أشار إلى «أن الهليوم الذي نتعامل معه يجب أن يكون قد تكوّن بشكل ما وفي مكان ما وفي زمن ما». «لن نجادل مع الناقد الذي يقول إن سخونة النجوم غير كافية لهذه العملية، وإنما يكفي أن نقول له أن يذهب ويعثر على مكان أكثر سخونة» (ص ٣٠١) (*).

وفي الوقت الذي كانت فيه كلماته في مرحلة الطباغة، بدأ تطور فهم جديد للفيزياء من شأنه أن يفك الاشتباك. لقد ذكر إدينجتون في مقدمة كتابه، التي ترجع إلى يوليو ١٩٢٦، أنه «في اللحظة التي تُطبع فيها هذه الكلمات بدأت تظهر «نظرية كمّ جديدة» قد يكون لها ردود فعل مهمة على مشكلة الطاقة النجمية عندما يتم تطويرها بالكامل» وكان على صواب، إذ كانت أول ثورة كبرى في الفيزياء في القرن العشرين هي النظرية النسبية، التي قدمت مفهوماً مبدئياً لإمكان تحول الكتلة إلى طاقة، وفتحت بذلك إمكانية امتداد حياة نجم مثل الشمس لمليارات السنوات. أما ثاني ثورة كبرى في الفيزياء في القرن العشرين فكانت فيزياء الكم، التي أوضحت كيف يمكن حدوث ذلك عملياً، وإن ظروف الحرارة والضغط في قلب الشمس، التي حسبها إدينجتون كانت فعلاً صحيحة تماماً بحيث تسمح بحدوث سلسلة التفاعلات التي حولت بالفعل

(*) عندما كان إدينجتون يؤكد اقتناعه بقوانين الفيزياء التي تكشف، دون احتمال للبس، عن حرارة قلب الشمس كان كمن يقول لمعارضيه «اذهبوا إلى الجحيم».

أربعاً من أنوية الهيدروجين (بروتونات)، فى كل مرة، إلى أنوية هليوم (جسيمات ألفا).

وكانت الرسالة من النوع الجدير بالتقدير والتي يتكرر مضمونها فى تاريخ العلم وتعنى أنه عندما تؤكد المشاهدة أن شيئاً ما حدث، بينما تنص النظرية على استحالة ذلك، فإن ذلك يعنى أن الوقت قد حان لتغيير نظريتك، وليس المشاهدات! لكن الآمال التى عبر عنها إدينجتون فى يوليو ١٩٢٦ استغرقت أكثر من عشر سنوات لى تصبح واقعاً، بفضل تطور الفهم الكامل لأسلوب إنتاج الطاقة داخل الشمس والنجوم.

الفصل الثالث

فى قلب الشمس

فى الكلمة التى وجهها لجمهور الجمعية البريطانية فى عام ١٩٢٠ - التى سبقت الإشارة إليها فى الفصل الثانى - علق إدينجتون تعليقاً على مصدر طاقة الشمس اتسم ببصيرة ثاقبة. فأشار إلى إمكانية أن تكون الطاقة دون الذرية(*) قد تحررت بالفعل داخل النجوم، وذكر أن تجارب أستون لم تترك، فيما يبدو إلا مجالاً صغيراً للشك فى أن كل العناصر تتكون من ذرات هيدروجين مرتبطة معاً بالكثرونات سالبة. فنواة ذرة الهليوم مثلاً تتكون من أربع ذرات هيدروجين مرتبطة بالكثرونين. لكن أستون برهن أيضاً بشكل حاسم على أن كتلة ذرة الهليوم أقل من مجموع كتل ذرات الهيدروجين الأربع الداخلة فى تكوينها. إن تحول العناصر يمكن، إذا حدث، أن يحرر طاقة مساوية للفرق فى الكتلة، و«إذا كان ٥٪ من كتلة النجم تتكون أصلاً من ذرات هيدروجين، وأن هذه الذرات تتحد تدريجياً لتكون عناصر أكثر تعقيداً، فإن إجمالى الحرارة المنبعثة ستزيد على احتياجاتنا، ولن نحتاج إلى مزيد من البحث عن مصدر طاقة النجوم».

كانت نقطة الشك الوحيدة حينذاك هى أن تحول العناصر داخل النجوم قد لا يحدث فى الواقع. لكن إدينجتون كان لديه رد على ذلك. حيث قال لجمهور

(*) المتعلقة بباطن الذرة أو بالجسيمات الأصغر من الذرة. (المترجم).

الحاضرين إن راذرفورد قام مؤخراً بتفكيك ذرات أكسجين ونيوتروجين. وحصل منهما على نظير للهليوم، و«ما يمكن تحقيقه في معمل كافنديش قد لا يصعب تحقيقه في الشمس». كان إدينجتون قريباً جداً من الحقيقة، لكن تخمينه الحدسي افتقر إلى البرهان العلمى.

قبل إثبات الأهمية الحقيقية لتحول الهيدروجين إلى هليوم، وقبل أن يتمكن علماء الفلك من إدراك أن الهيدروجين يشكل أكثر من ٥٠٪ من كتلة نجم مثل الشمس، كانت ثورة الكم قد زودت الفيزيائيين بمجموعة جديدة من الأدوات لوصف طريقة تفاعل الجسيمات في ظل الظروف الموجودة في قلب الشمس. وكان أهم هذه الأدوات مبدأ الريبة Principle of Uncertainty .

مبدأ الريبة في نظرية الكم

لقد رويت قصة ثورة الكم بالتفصيل في كتابى «بحثاً عن قط شرودينجر» - قصة عالم الكم الغريب، عالم الجسيمات مثل الإلكترونات والبروتونات، التى يتعين النظر إليها على أنها موجات بقدر ما هى جسيمات، وإلى الموجات، مثل الضوء على أنها جسيمات (فى حالة الضوء، فوتونات). ومن أغرب سمات حقيقة الكم، اللصيقة بهذه الطبيعة المزدوجة : موجة/ جسيم، هى مبدأ الريبة. ففي عالم الكم، لا يمكنك قط أن تجزم تماماً بموقع الجسيم - ليس لمجرد صعوبة قياس موضع شىء صغير جداً مثل الإلكترون، لكن لأن موضعه «ليس له» نقطة محددة بدقة. ذلك لأن الجسيم أيضاً موجة - والموجة، بطبيعتها، شىء ممتد ومنتشر (شكل ٢ - ١). إن هذه السمة لعالم الكم هى التى فسرت كيف استطاعت جسيمات ألفا - ما نسميه الآن أنوية هليوم - الهروب من أنوية ذرات المواد المشعة.

لقد كان واضحاً فى العشرينيات من هذا القرن، أن الذرات تتكون من سحابة من الإلكترونات ذات شحنة سالبة تحيط بنواة صغيرة جداً ذات شحنة موجبة. وفى الحالة العادية، تكون الذرة متعادلة كهربياً، حيث يتوازن تماماً عدد الإلكترونات فى السحابة الخارجية مع عدد البروتونات فى النواة الموجبة - لكن النواة تحتوى أيضاً على جسيمات متعادلة، مماثلة للبروتونات لكن شحنتها صفر وتسمى نيوترونات.



شكل (١ - ٣) : حزمة موجية. يفضل اعتبار أن الجسيمات الأولية، مثل الإلكترونات والبروتونات، هي حزم صغيرة من الموجات، وليست نقاطاً رياضية. إن الحزمة الموجية، بطبيعتها، شيء منتشر وممتد، ذو حجم محدد.

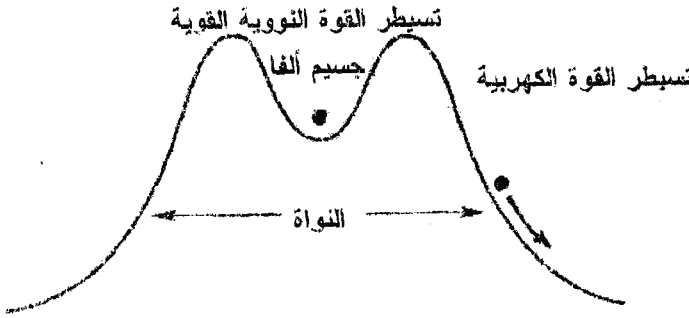
ولم تكتشف هذه الجسيمات إلا في عام ١٩٣٢ (*) . إن نواة نظير الراديوم الأكثر انتشاراً في الطبيعة تحتوى على ٨٨ بروتوناً و ١٣٨ نيوترونًا، وعندما تتحل فإنها تطرد اثنين من البروتونات ومثلهما من النيوترونات، في شكل جسيم ألفا، يخلف وراءه نواة ذرية أقل كتلة.

إن الشحنات المتماثلة تتنافر بالطبع. ولأن جسيم ألفا يحمل شحنة موجبة وكذلك النواة التي خلفها وراءه، فلا عجب، أن يندفع جسيم ألفا بقوة تنافر قوية بعيداً عن النواة بمجرد تكوينه خارجها. لكن كل أنوية الذرات تحتوى على شحنة موجبة، ومع ذلك فإنها لا تنفجر نتيجة لتنافر الشحنات المتماثلة الموجودة على البروتونات المكونة لها. وذلك لأن هناك قوة أخرى تعمل داخل النواة، وهى القوة النووية القوية التى تطفى على قوة التنافر الكهربائية بين البروتونات وتعمل على مسافات دقيقة جداً - عبر نواة الذرة -، فتلتصق خليط البروتونات والنيوترونات معاً. إن مدى عمل القوة النووية القوية قصير جداً، ولكنها تسيطر تماماً على القوة الكهربائية عبر هذا المدى القصير. وكان أحد الألغاز التى يتعين على فيزيائى الكم أن يحلوها فى نهاية العشرينيات من القرن العشرين هو كيف استطاع جسيم ألفا الهارب من نواة المادة المشعة أن يتغلب على هذه القوة الجاذبة للمسافة الكافية التى تسمح له بالفرار؟

وكان الجواب هو مبدأ الريبة، الذى اكتشفه العالم الروسى الشاب جورج جامو (George Gamow) الذى كان يزور جامعة جوتينجن فى عام ١٩٢٨ (وانتقل بعد ذلك إلى الولايات المتحدة وأصبح مواطناً أمريكياً). لقد أدرك جامو أن القواعد الدقيقة لمبدأ

(*) عندما ذكر إدينجتون فى عام ١٩٢٠ ذرات هليوم تحتوى على إلكترونين إضافيين، مرتبطتين بالنواة لإلغاء بعض الشحنة الموجبة لأربع أنوية هيدروجين (أربعة بروتونات)، لم تكن النيوترونات قد اكتشفت بعد. فى الواقع، تتكون نواة الهليوم - ٤، أو جسيم ألفا من بروتونين ونيوترونين وليس من أربعة بروتونات وإلكترونين. لكن إذا ترك النيوترون لنفسه لأكثر من عشر دقائق، فإنه «ينحل» مطلقاً إلكترونًا ومتحولاً إلى بروتون؛ وبالتالي فإن وصف إدينجتون، رغم كل شيء، لم يكن بعيداً عن الهدف.

الريبة في فيزياء الكم تسمح - بل هي في الواقع تمتدسى - أن يذتشر جسيم ألفا في بعض الأنوية عبر مسافة قصيرة، ممتدة خارج النواة تماماً وخارج مدى القوة النووية القوية. إن التأثير المتضافر للقوة النووية القوية وقوة التنافر الكهربائية ينتج طاقة تماثل ريوه تحيط بالنواة، أو حاجز يتعين على جسيم ألفا أن يتسلقه لكي يهرب. لقد بينت قياسات طاقة جسيمات ألفا الهاربة أنها لا تملك الطاقة الكافية لتسلك هذه الربوه، وأثبتت أبحاث جامو كيف يمكن لمبدأ الريبة في فيزياء الكم أن يسمح لهذه الجسيمات أن «تشق نفقاً» عبر هذه الربوه. وعندما وضعت الأرقام في المعادلات، بدت ملائمة تماماً، لقد فسر مبدأ الريبة وتأثير النفق بدقة كيف خرجت جسيمات ألفا من أنوية المواد المشعة باستخدام الطاقة المقاسة (شكل ٢ - ٣).



شكل (٢ - ٣) : إن التفاعل بين القوة النووية القوية والقوة الكهربائية يكون بشراً عن طاقة الوضع حيث يتم اصطلياد جسيمات نواة الذرة. وجسيم ألفا الموجود داخل البئر ولا يملك طاقة كافية لتسلك الحاجز يظل داخل هذا الفخ للأبد. لكن مبدأ الريبة لفيزياء الكم، التائل بأن الجسيم هو في الواقع حزمة موجية تمتد فيما وراء حدود النواة، يسمح لبعض جسيمات ألفا أن تشق نفقاً عبر الحاجز وتهرب. وبالطريقة نفسها، أثناء تفاعلات الاندماج النووي تشق بعض الجسيمات من الخارج نفقاً إلى النواة عبر الحاجز.

لكن ما علاقة ذلك بالتصاق أنوية الهيدروجين معاً لتكوين نواة هليوم؟ العلاقة هي أن تأثير النفق يعمل أيضاً في الاتجاه الآخر. فإذا اقترب بروتون من نواة ذات شحنة موجبة، فمن المتوقع أن تتنافر الشحنة الكهربائية الموجبة للنواة معه وتطرده بعيداً. وإذا كان يتحرك بسرعة كافية - أي بطاقة حركة كافية - يستطيع أن يقترب بدرجة تمكنه من أن «يلمس» النواة، وعندئذ تستطيع القوة النووية القوية أن تمسك به وتحتجزه؛ وبالتالي تكون النواة قد كسبت بروتوناً وتحولت. لكن الطاقة التي يحتاجها البروتون الوافد ليكون قريباً من النواة بهذه الدرجة عالية جداً، أعلى بكثير من الطاقة التي تملكها

البروتونات عند درجات الحرارة التي تفترض الفيزياء البسيطة لإدينجتون وجودها داخل الشمس. ومع ذلك، فإن تأثير النفق يغير الصورة. إذ يتعين فقط على البروتون، بحكم طبيعته الموجية، أن يصل قرب النواة بدرجة كافية بحيث تتداخل موجته مع موجة النواة قبل الإمساك به. إن البروتون، في الواقع، يشق نفقاً عبر الحاجز الكهربى الذى يمنعه من التقدم. ولذلك لا حاجة لمكان «أشد حرارة» من قلب الشمس لتحويل أنوية الهيدروجين (بروتونات) إلى أنوية هليوم. وكان إدراك ذلك هو الذى دفع علماء الفيزياء الفلكية للبحث فى عمليات التحول التى تحافظ على الشمس، والنجوم الأخرى، ساخنة. لظهر أن الأمر استغرق منهم أكثر من عشر سنوات للوقوف على التفاصيل.

شق الأنفاق داخل النجوم

إن بصيرة جامو النافذة واكتشافه لتأثير النفق، وضع الفيزيائيين على طريقين منفصلين رغم وجود صلة بينهما.

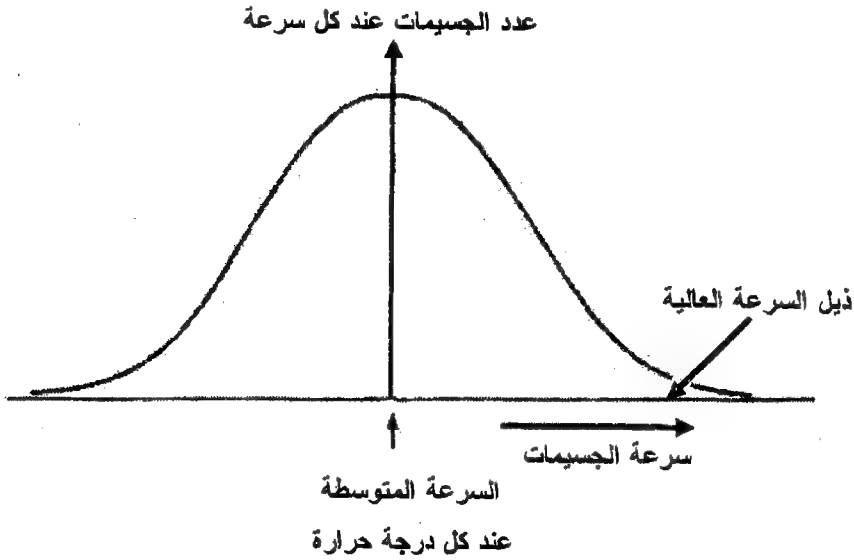
لقد منحهم ذلك، أخيراً، فرصة فهم مصدر الطاقات الضخمة التى تزود النجوم بالحرارة، وفتح أمامهم إمكانية تحقيق حلم الخيميائيين^(*)، وتحويل عنصر إلى آخر فى المعامل على الأرض. لقد كان علماء الفيزياء الفلكية الأسرع عند خط الانطلاق؛ ولكنهم استغرقوا وقتاً أطول لتحقيق هدفهم.

بدأت الخطوات الأولى بسرعة مدهشة عقب أن أعلن جامو فكرة النفق فى عام ١٩٢٨. وفى العام التالى، استخدم الفيزيائيان روبرت أتكينسون (Robert Atkinson) وفريتز هوتيرمنز (Fritz Houtermans) الفكرة لإثبات أن الطاقة الشمسية يمكن أن تنتج مبدئياً عن التصاق أنوية الذرات معاً - وهى العملية التى تُعرف الآن بالاندماج النووى. ولقد بينت حساباتهما كيف تستطيع أنوية الهيدروجين (بروتونات) فعلاً أن تقترب من بعضها البعض لى يحدث الاندماج، حتى فى ظل درجات الحرارة المنخفضة نسبياً التى نصت الفيزياء صراحة على أنها توجد دون شك فى قلب الشمس. ولقد بين رودلف كيبنهاهن (Rudolf Kippenhahn)، الذى عمل مع أتكينسون فى الستينيات، (فى كتابه «١٠٠ مليار شمس») كيف تذكر أتكينسون ما الذى وجه تفكيره نحو الاتجاه السليم. لقد ذكر بوضوح أن كتاب إدينجتون «التكوين الداخلى للنجوم» جعله يدرك لأول مرة مشكلة

(*) علماء الكيمياء القدامى. (المترجم).

أن درجات الحرارة داخل النجوم ليست عالية بما يكفى لإحداث الاندماج، لكنه ذكر أيضاً أن إدينجتون كان مقتنعاً بأن الطاقة النووية «لا بد» أن تكون هى مصدر الضوء والحرارة اللذين تشعهما النجوم. كما وفى أتكينسون وهوترمنز جامو حقه فى أول جملة من البحث الذى قدماه عام ١٩٢٩ (الذى نُشر فى Zeitschrift Fur Physik المجلد ٥٤، صفحة ٦٥٦)، حيث كتبوا: «لقد أثبت جامو مؤخراً أن الجسيمات ذات الشحنات الموجبة يمكنها أن تنفذ إلى النواة الذرية، بالرغم من الاعتقاد التقليدي القائل إن طاقة هذه الجسيمات غير ملائمة».

إن مفتاح فهم كيف يجعل تأثير النفق طاقات البروتونات داخل الشمس ملائمة للقيام بالعمل هو أن عملية اندماج صغيرة يمكن أن ينجم عنها تأثير كبير. حيث تنطلق كمية كبيرة من الطاقة فى كل مرة تتحول فيها أربعة بروتونات، بأية طريقة كانت، إلى جسيم ألفا وبالرغم من أن التفاعل قد يكون نادراً، فإنه يوفر الطاقة الكافية للاحتفاظ بالشمس ساخنة (نظراً لأن الشمس تتكون من مليارات الجسيمات). ومن ناحية أخرى، فإن «أغلب» البروتونات عند درجات الحرارة فى قلب الشمس التى تُقدر بحوالى ١٥ مليون كلفن طبقاً للتقديرات الحديثة - لا تتحرك بسرعة كافية تمكنها من أن تشق نفقاً عبر الحاجز الكهربى. إن درجة حرارة أى جسم، بما فى ذلك الشمس، هى فى الواقع قياس لسرعته حركة الجسيمات المتكون منها هذا الجسم وسرعة اصطدامها ببعضها البعض، لكن هذا لا يعنى أن لكل الجسيمات الطاقة نفسها، أو السرعة نفسها بالضبط؛ فهناك سرعة متوسطة معينة أكثر شيوعاً، وتكون مناسبة لدرجة الحرارة المعينة تلك. غير أن بعض الجسيمات تفوق سرعتها سرعة هذا المتوسط، وأخرى تقل عنه، وتخضع فى ذلك لنمط محدد تماماً وقانون إحصائى دقيق. ومن الممكن عند أية درجة حرارة حساب نسبة الجسيمات التى تتحرك بسرعة تتجاوز المتوسط بنسبة ١٠٪ أو ٥٠٪ أو ضعفى السرعة المتوسطة، أو أية سرعة أخرى ترغب فى حساب نسبة الجسيمات التى تتحرك بها وليس السرعة المتوسطة فقط (شكل ٢ - ٣). ويُقال إن هذه الجسيمات النادرة السريعة تقع عند «ذيل السرعة العالية» لتوزيع السرعات. إن الانتصار الذى حققه تطبيق نظرية النفق لجامو على الظروف داخل الشمس، يكمن فى أنه أثبت أن عدداً كافياً من جسيمات «ذيل السرعة العالية» يستطيع عند درجة الحرارة الملائمة، أن يشق نفقاً عبر الحاجز الكهربى. لكن هذا البحث الذى ظهر عام ١٩٢٩ لم يكن إلا الخطوة الأولى على الطريق نحو كشف سر احتفاظ الشمس بحرارتها ساخنة؛ لأنهم



شكل (٢ - ٣): حتى مع تأثير النفق، فإن عدد الجسيمات التى تتحرك بالسرعة الكافية لحدوث الاندماج داخل الشمس يكون قليلاً. وتنتمى هذه الجسيمات لـ «ذيل السرعة العالية» لتوزيع السرعات المقابلة لدرجة الحرارة فى قلب الشمس.

وفتذاك لم يكونوا يدركون بدقة ماهية تفاعلات الاندماج التى تحدث داخل الشمس وحسب، بل كانت فكرتهم عن المواد والعناصر التى تتكون الشمس منها خاطئة تماماً أيضاً. وتذكر أن أناكزاجوراس كان يعتقد أن الشمس كرة من الحديد الأحمر الساخن. وفى عام ١٩٢٩، لم يكن تصور علماء الفيزياء الفلكية لتكوين الشمس قد تقدم كثيراً عن هذه الفكرة. وكان من الطبيعى الاعتقاد بأن تكوين الشمس لن يختلف كثيراً عن تكوين الأرض. شجعت فكرة انبعاث طاقة الشمس عن الانحلال الإشعاعى لعناصر معدنية ثقيلة مثل الراديوم على تصور أن الشمس فى معظمها تتكون من عناصر ثقيلة. وهكذا، بالرغم من أن أتكينسون وهوترمانز أثبتا أن البروتونات تستطيع النفاذ إلى أنوية ذرات عناصر أثقل وتندمج معها تحت الظروف السائدة داخل الشمس، فإن أحداً لم يتوقع حتى نهاية العشرينيات من القرن العشرين أن ما يحتفظ للشمس بحرارتها هو اندماج البروتونات مع بروتونات أخرى لتكوين أنوية هليوم بشكل مباشر تقريباً وأن عملية الاندماج هى فى الواقع أكثر مصادر الطاقة فاعلية بين المصادر المختلفة.

واستمر أتكينسون فى تطوير هذه الأفكار بشكل أكثر تفصيلاً خلال الثلاثينيات، بينما انصرف هوترمانز إلى عمل آخر. وفى عام ١٩٢٨، أثبت ألبرخت أنسولد (Albrecht Unsöld) لأول مرة باستخدام التحليل الطيفى، أن الهيدروجين ليس فقط

أكثر العناصر توافراً في الغلاف الجوي للشمس، بل إن عدد ذراته هناك يزيد مليون مرة تقريباً على أى عنصر آخر؛ وكان وليم مكريا (William McCrea) قد أكد نفس الشيء عام ١٩٢٩ باستخدام تقنية مطيافية مختلفة تماماً. لكن بالرغم من نجاح أنسولد ومكريا في إثبات أن الهيدروجين هو العنصر الغالب بفارق هائل في الغلاف الجوي للشمس، فقد احتاج علماء الفيزياء الفلكية إلى وقت طويل حتى يدركوا أنه العنصر الغالب كذلك «في كل مكان» من الشمس والنجوم كلها. وحتى الثلاثينيات من القرن العشرين ظلت الشمس تخفى سرها الأساسي، ألا وهو مم تتكون. ومع ذلك، كان من الواضح أن هناك كمّاً وفيراً من الهيدروجين المتاح لإنتاج الطاقة عن طريق الاندماج. وفي بدايات الثلاثينيات، طور أتكينسون فكرة أن الأنوية الأثقل قد تمتص البروتونات الواحد تلو الآخر حتى تصبح غير مستقرة، ونتيجة لنوع من عسر الهضم النووي فإنها تطلق جسيمات ألفا - وهي طريقة لتحويل الهيدروجين إلى هليوم عبر وسيط. لقد كان على صواب تقريباً - وكما سنرى، فإن بعض النجوم تحصل على طاقتها بهذه الطريقة، لكن تلك ليست عملية الاندماج الرئيسية التي تتم داخل الشمس. لكن أتكينسون أثبت في عام ١٩٣٦ أن تفاعل الاندماج الوحيد المحتمل حدوثه في ظل الظروف السائدة في قلب الشمس هو الاندماج البسيط لاثنتين من أنوية الهيدروجين لتكوين ديوترون. في هذه العملية، يتحول أحد البروتونات إلى نيوترون، وذلك بأن يلفظ بوزيترونًا وهو نظير للإلكترون لكنه موجب الشحنة. والديوترون هو نواة تتكون من بروتون واحد ونيوترون واحد مرتبطين معاً بالقوة النووية القوية، ويُسمى أيضاً الهيدروجين الثقيل.

لكن كل هذا الحديث عن بروتونات تتحول إلى نيوترونات وتلفظ بوزيترونات إنما يوضح حجم التغير الذي حدث في علم الفيزياء في سبع سنوات، فحتى عام ١٩٢٩، عندما نُشرت أبحاث أتكينسون وهوترمانز، لم تكن البوزيترونات ولا النيوترونات معروفة لأحد. فقد كانت جزءاً من النسخة الفيزيائية العملية لقصة خيمياء القرن العشرين.

الخيمياء في المعمل

في عام ١٩٢٨، عندما خرج جامو بفكرة تأثير النفق، كان الفيزيائيون لا يعرفون إلا اثنين من الجسيمات «الأساسية»، وهما البروتون والإلكترون. وكان جسيم ألفا بالنسبة لهم مجموعة من أربعة بروتونات وإلكترونين مرتبطة في وحدة واحدة معاً، وكان يمكن

تصور كل الذرات على أنها مبنية من البروتونات والإلكترونات فقط. لكن لغزاً قديماً يدور حول طبيعة النشاط الإشعاعى، وهذه الجسيمات استعصى على الحل منذ عام ١٨٦٨، أى نفس التاريخ الذى توصل فيه راذرفورد إلى الاختلاف بين أشعته ألفا وبيتا من حيث طبيعتهما. وبالرغم من الجزم بأن أشعة بيتا هى إلكترونات فى أوائل القرن، إلا أن كيفية انبعاثها من أنوية الذرات ظلت حتى نهاية العشرينيات سرّاً، وأثبتت قياسات عام ١٩١٤، بصفة خاصة، أن انطلاق أشعة بيتا (إلكترونات) من ذرة نشطة إشعاعياً (وهى ما نعرفه الآن بالنواة المشعة وليس الذرة المشعة) يؤدى إلى فقد الطاقة. ويتعلق ذلك بأسلوب تحول الكتلة إلى طاقة والعكس بالعكس (*). وفى الأنوية التى تتحلل إشعاعياً؛ تختلف كتلة النواة قبل انطلاق الإلكترون عن كتلتها وكتلة الإلكترون، معاً بعد انطلاقه؛ إذ تنطلق أثناء الانحلال طاقة تعادل مرة ونصف كتلة الإلكترون، وهذه الطاقة يستخدمها الإلكترون فى اكتساب سرعة ثابتة «واحدة» لكل الإلكترونات المنطلقة أثناء عملية تحلل بيتا. لكن الإحصاءات التى أجريت على كثير من القياسات للإلكترونات المنطلقة نتيجة تحلل بيتا أثبتت أنها تنبعث من النواة بطاقة إجمالية تقل دائماً عن الرقم السحري المعادل لمرة ونصف من كتلة كل إلكترون منطلق على حدة، وكان الطاقة تبذرت فى الهواء المتطاير.

وفى عام ١٩٢٠، فسّر فولفجنج پولى (Wolfgang Pauli) هذا التفاوت بوجود نوع آخر من الجسيمات، معدوم الشحنة الكهربائية وضميل الكتلة جداً لم يسبق رصده معملياً قبل ذلك الوقت. والدور الوحيد لهذا الجسيم هو حمل الطاقة المفقودة أثناء «انحلال بيتا» بعيداً. وفيما بعد أطلق على هذا الجسيم المفترض وجوده اسم «النيوترينو»، ثم نجح العلم بعد ذلك فى رصده. والفصل الرابع سيخبرنا الكثير عن هذه الجسيمات. لكن فى عام ١٩٣٠، كان افتراض وجود نوع آخر من الجسيمات الأساسية غير البروتون والإلكترون بمثابة جرأة انتحارية.

ولم يمض عامان، أى فى عام ١٩٣٢، إلا وكان اكتشاف النيوترينو قد أكد أن التفاعلات داخل الذرات لا تنحصر فى نطاق التفاعل بين البروتون والإلكترونات، وأكسب ذلك فكرة وجود النيوترينو وجاهة، ولم يمض زمن طويل حتى أصبح تفسير

(*) يجرى حديثى فى هذا الفصل وغيره من الكتاب باستخدام أسماء وأفكار لم تكن معروفة قديماً، مثل التحلل الإشعاعى (وغيره من العمليات) لتجنب اللبس.

حدوث انحلال بيتا يقوم على وجود نوع آخر من القوة هي القوة النووية الضعيفة، التي تحدد كيف يمكن للنيوترون أن يتحول إلى بروتون بإطلاق إلكترون ونيوترينو. ففى عملية انحلال بيتا، تفقد نواة المادة المشعة نيوترونًا وتكتسب بروتونًا ومتحولة فى هذه العملية إلى نواة عنصر آخر. وأدت إضافة النيوترون والنيوترينو إلى القائمة، إلى تضاعف الجسيمات الأساسية المعروفة فى مدى عامين. ولكن، ما دور البوزيترون فى القصة؟

فى عام ١٩٢٩، عندما بدعوا يأخذون نظرية النفق وما تنطوى عليه من آثار مأخذ الجد، خرج الفيزيائى البريطانى پول ديراك (Paul Dirac) بفكرة بدت لأول وهلة ضريباً من الخيال. فلقد وجد عند بحثه فى معادلات جديدة فى فيزياء الكم (معادلات وضعها بنفسه)، أن ما يصف سلوك الإلكترون منها (بما فى ذلك طبيعته المزدوجة «موجة/جسيم») لها حلان مختلفان. ويشبه ذلك تقريباً حل المعادلات التربيعية البسيطة بطريقتين، فلأبسط معادلة تربيعية، $s^2 = 4$ ، حلان، $s = 2$ ، $s = -2$. وكلاهما صحيح لأن $2 \times 2 = 4$ و $(-2) \times (-2) = 4$.

لكن معادلات ديراك كانت أعقد من ذلك ولا شك، وإن كانت فى النهاية تُحل بنتيجتين، ووصف الإلكترون لا يحتاج إلا لحل واحد. وضمن ديراك بالجمال الرياضية التى تفتن فى وضعها بعشق، لذلك افترض أن الحل «الزائد» لمعادلاته يصف جسيماً كالإلكترون وإن كان موجب الشحنة. ولم يؤمن بفكرته إلا القليل أو ربما لم يؤمن بها أحد حتى كشفت دراسات للأشعة الكونية عام ١٩٣٢ (جسيمات عالية الطاقة تأتى من الفضاء الخارجى) عن وجود إلكترونات ذات شحنة موجبة - بوزيترون. وثبتت صحة حلول معادلات ديراك. ومع إطلالة عام ١٩٣٢، أصبح جميع اللاعبين الأساسيين المشاركين فى لعبة خيمياء الشمس القديمة معروفين، رغم عزوف الفيزيائيين جميعاً عن الالتفات إلى النيوترينو بالذات.

لكننا نعلم الآن أن وجود جسيم أشبه بصورة المرأة للإلكترون، يقابله تماماً وجود «جسيمات عكسية»، أى صور مرآة للنيوترون والبروتون والنيوترينو. وهكذا تخيل أن كل الكواكب والنجوم تتكون من هذه المواد - لكن قليلاً منها جداً يبقى فى الجزء الكونى الذى تسبح فيه الأرض لأن أى «جسيم مضاد» يقابل نظيره يتبدد فى انفجار يحوله إلى إشعاع بحث بحيث تتحول كتلة الجسمين إلى طاقة. ونكاد نجزم أن الكون بأكمله مكون من مادة لا تقابلها مادة مضادة. لكن ذلك لا يمنع خروج جسيمات مضادة مثل

البوزيترون من التفاعلات النووية، حيث تشارك في تفاعلات نووية أخرى خلال فترة حياتها القصيرة.

وبينما انشغل بعض العلماء بما تعنيه معادلات الكم، «وبابتكار» جسيمات جديدة لتعليل اختفاء الطاقة المفقودة أثناء انحلال بيتا، كان علماء الفيزياء الأكثر ميلاً إلى الفكر العملي منغمسين في تجارب على غرار تلك التي بدأت ثورة فيزياء الجسيمات بها. وذلك بضرب الذرات (الأنوية) بعضها ببعض بأقصى درجة من العنف ومراقبة النتائج. لكن هذه المرحلة بالذات من ضرب الذرات بعضها ببعض كانت نتيجة مباشرة لتطور أفكار الكم الجديدة : فقد انبثقت عن نظرية النفق التي قال بها جامو.

في أوائل الثلاثينيات، ابتكر الفيزيائيون أول الآلات التي يمكنها إحداث تسارع لأشعة البروتونات، وصولاً إلى طاقات عالية، باستخدام مجالات كهربية. وطاقة الأشعة الناتجة عن مسارعات الجسيمات تُقاس عادة بالطاقة التي يكتسبها إلكترون عند مسارعته عبر فرق جهد كهربى يُقدر بقولت واحد (إلكترون فولت).

وتفترض المعادلات القديمة التي كانت تصف الاصطدام بين البروتونات والأنوية الذرية أن طاقة البروتونات اللازمة للاقتراب بالقدر الكافي من الأنوية «لالتصاق» بها، لا تقل عن عدة ملايين إلكترون فولت حتى يمكن أن تؤثر في القوة النووية القوية. ولما كانت النظرية القديمة تفترض أن درجة حرارة الشمس أقل من الدرجة اللازمة لحدوث مثل هذه التفاعلات فقد كان الفيزيائيون، في أواخر العشرينيات من القرن العشرين، موقنين سلفاً بأن أى مسارعات يمكن إعدادها على الأرض لن تنجح في جعل البروتونات تلتصق بالأنوية في المعمل. لكن معادلات جامو الخاصة بتأثير النفق صدقت في المعمل على الأرض كما صحت داخل الشمس.

في نهاية العشرينيات، كانت الجسيمات الوحيدة التي يمكن للفيزيائيين استخدامها في تجارب قذف الأنوية الذرية، هي جسيمات ألفا المنبعثة من الانحلال الإشعاعي. وكانت جسيمات ألفا هي التي أحدثت أول عمليات تحول ناجحة للعناصر، عندما اكتشف رادرفورد في عام ١٩١٩ أنه عند اصطدام هذه الجسيمات السريعة بنواة نيتروجين فإنها تتحول إلى نواة أكسجين، بينما تنطلق من هذا التفاعل نواة هيدروجين أطلق عليها رادرفورد اسم «بروتون». فحتى قبل أن يحدد رادرفورد هوية البروتون كجسيم أساسى، كان الفيزيائيون قد اكتشفوا أن من الممكن الحصول عليه بتجريد

الذرات كهربياً من الإلكترونات. وبعد عشر سنوات من أول تحويل للنتيروجين إلى أكسجين، عرف الفيزيائيون كيف يحصلون على بروتونات بوفرة. لكن ما أهمية بناء مسارع للبروتون إذا كانت هذه البروتونات المتسارعة لن يكون لديها الطاقة الكافية لاختراق الحاجز الكهربى الموجود حول النواة! غير أن جون كوكروفت (John Cockcroft) - أحد أحدث أعضاء فريق أبحاث راذرفورد فى معمل كافنديش - عرف فى عام ١٩٢٩، فى حديث له مع جامو، أن بروتونات لا تزيد طاقتها على مئات الكيلووات من الإلكترون فولت تستطيع اختراق الحاجز النووى. وكان يعرف سلفاً أن بناء مسارع للبروتونات يحقق هذا المستوى من الطاقة باستخدام تقنيات ذلك الوقت أمر ممكن؛ لكن بناءها سيكون كثيراً.

وكوكروفت، هو فيزيائى ولد فى عام ١٨٩٧ وبدأ متأخراً بعض الشيء فى هذا التخصص، حيث قطعت خدمته العسكرية أثناء الحرب العالمية الأولى دراسته. وكانت لديه خلفية جيدة فى الهندسة الكهربائية، اكتسبها من عمله فى الجيش فى سلاح الإشارات، فأفاده ذلك كثيراً فى العمل الذى جعله شهيراً.

ونجح كوكروفت فى إقناع راذرفورد باستخدام نفوذه فى الحصول على المال اللازم لذلك وهو مبلغ ألف جنيه إسترليني، الذى كان يمثل فى ذلك الوقت مبلغاً كبيراً. وفى خلال عامين من العمل الدؤوب، نجح كوكروفت بمعاونة باحث إيرلندى ناشئ هو أرنست والتون فى إقامة أول مسارع جسيمات ينتج شعاعاً من البروتونات تزيد طاقتها على ٧٠٠ كيلو إلكترون فولت. وكان الأساس المنطقى لهذا المشروع، عكس الفكرة الطريفة التى تضمنتها خطاب إدينجتون أمام الجمعية البريطانية عام ١٩٢٠: «إن ما يمكن حدوثه فى معمل كافنديش قد لا يستحيل حدوثه فى الشمس». كان جامو قد أشار إلى أن الأسلوب الذى يحدث به الاندماج داخل الشمس عند درجة حرارة منخفضة نسبياً، وهى ١٥ مليون كلفن، يعنى أن الحصول على هذا الاندماج فى المعمل باستخدام بروتونات طاقتها بضع مئات من الكيلو إلكترون فولت - أمر ممكن فى الواقع. والحقيقة أن ما يمكن حدوثه داخل الشمس قد لا يكون صعباً فى معمل كافنديش. وتم بالفعل بناء أول مسارع جسيمات فى معمل كافنديش - وفى عام ١٩٣٢، أنتج هذا المسارع تفاعلات اندماج نووى (ونال كوكروفت والتون جائزة نوبل لعام ١٩٥١ عن ذلك العمل).

وقد يصدد ذلك الذين يعرفون أن الباحثين مازالوا حتى يومنا هذا يصارعون للحصول على طاقة بتكلفة تجارية من خلال نفس نوع تفاعلات الاندماج التي تحدث داخل النجوم، وإن كانت على الأرض. لكن مشكلتهم - هي الحصول على تفاعل مستقر يمكن استخدامه بأمان في محطات القوى بصفة يومية ومنتظمة - وهو أمر أكثر صعوبة. إذ إن كوكروفت ووالتون لم يفعلوا أكثر من قذف أنوية مواد مختارة ببروتونات ثم فحصها؛ لتحديد أيها امتص البروتونات وتحول إلى عنصر آخر خلال العملية. وقد يبدو ذلك سهلاً ولكنه حقق حلم الكيميائيين القديم، ألا وهو تحويل العناصر، ودفع ذلك الفيزيائيين خطوات حاسمة إلى الأمام نحو معرفة سر بقاء الشمس ساخنة.

وكان الهدف الذي اختار كوكروفت ووالتون أن يقذفاه بشعاع بروتوناتهما هو طبقة رقيقة من الليثيوم، والليثيوم هو ثالث أخف العناصر بعد الهيدروجين والهليوم، وهو أخف مادة صلبة يمكن أن توجد في الظروف العادية. وكل نواة ذرة ليثيوم تحمل ثلاث وحدات فقط من الشحنة الموجبة. وبالطبع، كلما كانت الشحنة الموجبة في الأنوية المختارة أصغر، كان أسهل على البروتونات في الشعاع أن تشق نفقاً عبر الحاجز الكهربى. نحن نعلم حالياً أن نواة ذرة الليثيوم المستقرة تتكون من ثلاثة بروتونات وأربعة نيوترونات مرتبطة معاً بالقوة النووية القوية. إن أغلب البروتونات في شعاع مسارع كوكروفت ووالتون تمر عبر الحيز الخالى تقريباً بين أنوية الليثيوم، وتزيج من طريقها الإلكترونات جانباً. لكن بعض البروتونات فقط هي التي تصطدم مباشرة بأهدافها النووية، وطبقاً لتوقع جامو، فإنها تشق نفقاً إلى النواة. وفي كل حالة، تكون النتيجة نواة تحتوى على أربعة بروتونات وأربعة نيوترونات (نظير عنصر البريليوم). لكن هذا النظير غير مستقر بالمرّة بحيث يتفكك مباشرة تقريباً بمجرد أن يتكون إلى جسيم ألفا (أنوية هليوم)، يحتوى كل جسيم على بروتونين ونيوترونين. وتتحوّل الكتلة إلى طاقة في هذه العملية، ويندفع جسيماً ألفا من طبقة الليثيوم بقوة، ويمكن بالتالى رصدهما بسهولة.

وقد وصفت الصحافة العامة لتلك الأيام، وحتى الآن أحياناً، تجربة كوكروفت ووالتون بأنها «انشطار» للذرة، وكأن البروتونات الطائفة نسفت ببساطة أنوية الليثيوم، مثلما تهدم قذيفة مدفع جداراً حجرياً. لكن هناك معنى ودلالة أكثر عمقاً في كون أن النواة الذرية التي انشطرت هي بالفعل نواة «بريليوم» غير مستقرة، تكونت، حتى وإن كان ذلك بشكل عابر - نتيجة «اندماج» بروتون مع نواة ذرة ليثيوم. وبالتالي أمكن

مشاهدة تأثير النفق عملياً في معمل كافنديش، ولن يستطيع أحد بعد ذلك أن يشكك في أن هذا التأثير نفسه يحدث أيضاً في قلب الشمس. لكن ما الأنوية الذرية التي يعمل عليها؟

إناء الضغط الشمسي

طول الثلاثينيات من القرن العشرين، أعاق الاعتقاد الخاطئ حول مكونات الشمس محاولات علماء الفيزياء الفلكية للوقوف على الدورة الصحيحة لتفاعلات الاندماج التي تحافظ على حرارة الشمس. لقد أقنعهم أنسولد ومكريا بأن هناك قدراً كبيراً من الهيدروجين في الشمس (في غلافها الجوي على الأقل)، ومن ثم فقد كانوا يعلمون باحتمال وجود العديد من البروتونات المتاحة داخل الشمس، وبمستويات الطاقة المناسبة للمشاركة في نوع التفاعلات التي أثبتها كوكروفت ووالتون في معمل كافنديش (والتي سرعان ما تم إثباتها في معامل عديدة في الولايات المتحدة وأماكن أخرى). إن التناول الرائد لإدينجتون الذي استخدم معادلات الفيزياء القياسية التي تبين كيفية انتقال الحرارة إلى الخارج من داخل كرة من الغاز مثل الشمس، أثبت أن تدفق الحرارة، وبالتالي استقرار كرة الغاز، يتوقف على المواد التي يتكون منها النجم. إن الإشعاع الكهرومغناطيسي يتفاعل بقوة مع الجسيمات المشحونة، مثل الإلكترونات والبروتونات، وطبقاً لهذه الحسابات فإن نجماً كالشمس لا يستقر إلا إذا كان يحتوي على الخليط الصحيح من الإلكترونات والأنوية. فإذا كان عدد الجسيمات المشحونة كبيراً جداً فإنها ستحتفظ بالإشعاع في داخل النجم مما سيجمعه ينتفخ، أما إذا كانت قليلة جداً فإن الإشعاع سيتسرب بسهولة شديدة بحيث ينكمش النجم كالبالون المثقوب. ويوجد فارق بين كون البروتونات حرة، كما في أنوية الهيدروجين، أو متجمعة معاً كما في أنوية الحديد، ٢٦ بروتوناً في كل نواة (بالإضافة إلى العدد المناسب من النيوترونات، وهو ٣٠ نيوترونات في أغلب أشكال الحديد المستقر). وكان أناكزاجوراس قد افترض أن الشمس تتكون من حديد ساخن. إن عدد الإلكترونات هو دائماً نفس عدد البروتونات بالنسبة لنفس الكتلة الكلية للشمس. فإذا كانت كل الأنوية بروتونات بسيطة، فإن عدد الإلكترونات يكون كبيراً جداً، أما إذا كان قسم كبير من الكتلة محتجزاً على صورة نيوترونات، فإن عدد الإلكترونات يكون أقل بكثير (بالنسبة لشمس تتكون من حديد صافٍ فإن البروتونات تمثل أقل من نصف كتلتها، ويتكون الباقي من النيوترونات،

وبالتالى يكون عدد الإلكترونات الحرة فى هذه الحالة أقل من نصف عدد الإلكترونات فى حالة شمس تتكون من هيدروجين صاف).

وللأسف، أثبتت الحسابات أن كرة بحجم الشمس وبدرجة حرارتها ومعدل توليدها للطاقة، لا يمكن أن تستمر كنجم مستقر إلا إذا كانت نسبة الهيدروجين داخلها لا تقل عن ٢٥٪ تقريباً «أو» ٩٥٪ (تتكون الشمس بالفعل من ٩٥٪ على الأقل من الهيدروجين «والهيليوم»، مع احتمال ضعيف جداً لوجود أى عناصر ثقيلة). ومرة أخرى، ظهر خطأ ما «يعرفه الجميع»، لقد شوه الأفكار عن الشمس وكبح التقدم. كان «الجميع يعتقدون» أن تركيب الشمس أشبه بتركيب الأرض، إلى أن أثبت أنسولد ومكريا أن الأمر مختلف تماماً. وحتى عندما عرف الجميع أن هناك كميات كبيرة من الهيدروجين فى الشمس، وأن قوانين الفيزياء تقول أن «كميات كبيرة» تعنى إما ٢٥٪ هيدروجين و ٦٥٪ عناصر ثقيلة، أو أن نسبة العناصر الثقيلة أقل من ٥٪، كان من «المسلم به» أن تكون نسبة الهيدروجين الأقل هى الصحيحة لأنها الأقرب لما كان يعرفه الجميع من قبل. وبالتالي بدأ المنظرون البحث عن طرق تستطيع بها البروتونات أن تندمج مع أنوية أثقل لإنتاج أنوية غير مستقرة بحيث تلفظ هذه الأنوية جسيمات ألفا وتحرر طاقة، كما حدث بالنسبة «لانشطار» ذرات الليثيوم أثناء تجربة معمل كافنديش التى قام بها كوكروفت ووالتون.

ولقد شوه هذا التصور الخاطئ أعمال روبرت أتكينسون، عند تطويره للأفكار التى قدمها أول الأمر بالتعاون مع هوترمنز. وفى عام ١٩٢١، افترض إمكان تفسير كل من نسب العناصر المختلفة داخل النجوم وعملية توليد الطاقة فيها إذا كانت الأنوية الثقيلة تمتص بروتونات متتالية وتلفظ أنوية هليوم. لكنه كان يعتقد حينئذ أن نجماً مثل الشمس يحتوى على ٢٥٪ فقط من الهيدروجين. وفى عام ١٩٢٦، وبالرغم من هذه التصورات الخاطئة التى أعاقته، أثبت أن التفاعل الوحيد الأكثر حدوثاً فى قلب الشمس هو تصادم بروتونين لتكوين ديوترون (نواة تحتوى بروتوناً واحداً ونيوتروناً واحداً) وبوزيترون. وكانت الخطوة التالية هى إثبات الطريقة التى بواسطتها تقوم بعض النجوم، على الأقل، باستخلاص الطاقة النووية.

ومرة أخرى يتدخل جورج جامو فى القصة. وفى أبريل ١٩٢٨، نظم مؤتمراً فى واشنطن، ضم علماء الفلك والفيزياء، لمناقشة مشكلة توليد الطاقة داخل النجوم. وكان

من بين العلماء باحث شاب فى مجال الفيزياء النووية هو هانز بيت (Hanz Bethe)، الذى كان يتميز بفهم شامل للظروف التى يتعين توافرها حتى تنفذ البروتونات إلى أنوية ذات كتلة أكبر، لكنه لم يكن مدرّكاً لمشكلات الفيزياء الفلكية. ولد بيت عام ١٩٠٦ فى ستراسبورج (التي كانت فى ذلك الوقت جزءاً من ألمانيا، وهى حالياً جزء من فرنسا) وعمل فى عدد كبير من الجامعات الألمانية قبل أن ينتقل إلى بريطانيا فى عام ١٩٣٢ (عندما تولى هتلر السلطة) ثم إلى الولايات المتحدة فى عام ١٩٣٥، حيث عمل فى جامعة كورنيل بنيويورك.

وفى عام ١٩٣٨، أدرك علماء الفيزياء الفلكية أن طاقة النجوم لا بد أن تنبع من عمليات نووية، لكنهم لم يتوصلوا إلى نوع هذه العمليات النووية. ومن السهل تلخيص المشكلة، باستخدام مثالين؛ أولاً، أن التفاعل التقليدى بين أنوية الهيدروجين وأنوية الليثيوم - الذى قام به كوكروفت وواتسون - فعال أكثر مما يلزم لتفسير كيفية احتفاظ الشمس بحرارتها. لأنه لو كانت هناك كمية كبيرة جداً من الليثيوم فى قلب الشمس فسرعان ما تتحول إلى أنوية هليوم، ولو عند درجة حرارة ١٥ مليون درجة، محررة بذلك طاقة هائلة وبسرعة كبيرة، قد تؤدى إلى انفجار الشمس ذاتها. كما أن التفاعلات بين البروتونات وأنوية الأكسجين (مثلاً) أبطأ بكثير مما ينبغى، عند درجات الحرارة تلك، بحيث لا تستطيع أن تنتج الكمية المناسبة من الطاقة بشكل مستقل. ولو كانت الشمس تعتمد على مثل هذه التفاعلات، فإنها قد تنكمش حتى تصبح ساخنة فى المركز بحيث يزيد ذلك من سرعة التفاعلات. وتساءل بيت والعلماء الآخرون فى المؤتمر عن التفاعل النووي. أو مجموعة التفاعلات، التى يمكن أن تتم بالمعدل المناسب عند درجة حرارة قلب الشمس لإنتاج كمية الطاقة التى تشعها حالياً.

ويصف جامو فى كتابه «ميلاد وموت الشمس»، الذى ألفه مباشرة بعد هذه الأحداث، كيف قرر بيت أنها ليست بالمشكلة المستعصية على الحل، وكيف أعلن أنه سيكشف سر طاقة النجوم أثناء رحلة عودته لكورنيل بالقطار. تروى الأسطورة كيف عاهد بيت نفسه على حل المشكلة قبل جلوس الركاب لتناول العشاء - وفعلاً كان له ذلك وقبل الموعد بثوانٍ. وفى الوقت نفسه، فى بداية عام ١٩٣٨، توصل باحث ألماني آخر، هو كارل فون فيزسكر (Carl von Weizsäcker) إلى نفس حل مشكلته طاقة النجوم لكن فى برلين. غير أن ما كان ينقصه وجود عالم متحمس مثل جامو ليبرز الاكتشاف، بإزاحة

الستار عن حسابات متعجلة وسريعة اجريت ريثما يُعدّ العشاء في القطار (وهناك شكوك في صحة هذه القصة ولو جزئياً).

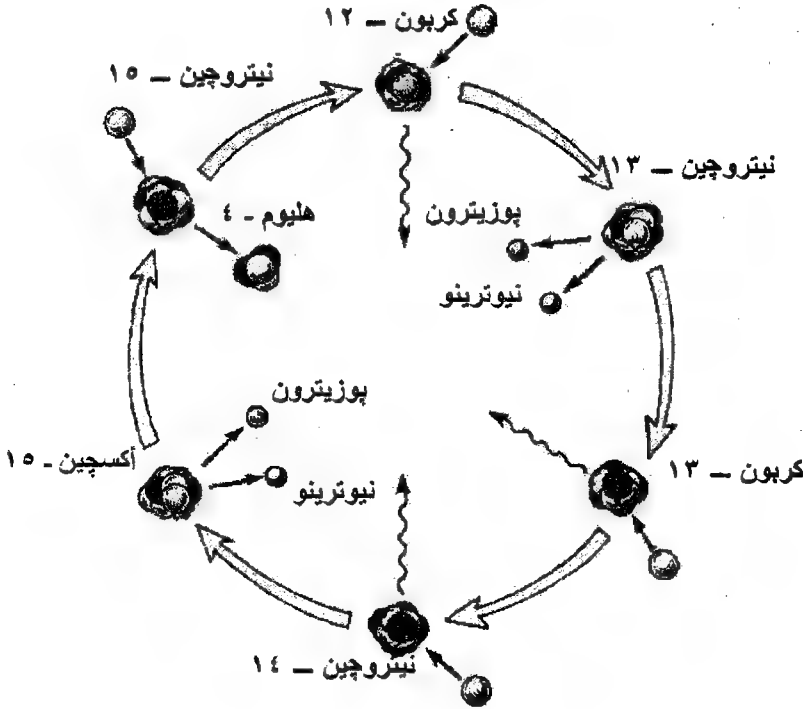
هيمياء النجوم

إن عملية توليد الطاقة في نسختها الحديثة، والتي لم يطرأ عليها سوى تحسينات طفيفة منذ عام ١٩٢٨، تُسمى دورة الكربون، أو دورة كربون - نيتروجين - أكسجين (CNO). وهي تعمل كما يلي :

أولاً، يشق بروتون نفقاً إلى نواة تحتوى ستة بروتونات وستة نيوترونات (نواة ذرة كربون - ١٢). والنواة الناتجة عن هذا الاندماج هي نواة نيتروجين - ١٣، وهي مشعة، وينطلق منها بوزيترون ونيوتريينو، وتتحول إلى نواة كربون - ١٣. وإذا شق بروتون آخر الآن نفقاً إلى هذه النواة، فإننا نحصل على نواة نيتروجين - ١٤، أما إذا شق بروتون ثالث نفقاً إلى نواة النيتروجين - ١٤ فإنها تتحول إلى نواة أكسجين - ١٥، وهي مشعة أيضاً، وينطلق منها بوزيترون ونيوتريينو، وتتحول إلى نواة نيتروجين - ١٥ (يتوقف «اسم» النظير، في كل حالة، على عدد البروتونات التي يحتويها، كما يتوقف «رقمه» على إجمالي عدد البروتونات والنيوترونات). لكن إذا شق الآن بروتون آخر نفقاً إلى نواة النيتروجين - ١٥، فإنها تلفظ جسيم ألفا، أي بروتونين ونيوترونين مرتبطين معاً لتكوين نواة هليوم.. وما يتبقى بعد ذلك هو نواة كربون - ١٢، وهو بالضبط ما بدأت به الدورة. وعبر العملية، تتحد أربعة بروتونات لتكون نواة هليوم، وينطلق اثنان من البوزيترونات واثنان من النيوتريونات ويتحرر كم هائل من الطاقة عبر هذه العملية. وتقوم كمية صغيرة نسبياً من الكربون - ١٢ في قلب النجم بدور العامل الحفّاز لعدة دورات من هذا النوع (شكل ٤ - ٣)، حيث يتحول الهيدروجين بشكل مُتّرد إلى هليوم وتتحرر طاقة تكفي للحفاظ على النجم ساخناً - ومع ذلك، فإن الكمية الكلية للكربون والنيتروجين والأكسجين داخل النجم تظل دون تغيير (ولو كان بيت قد اكتشف ذلك فعلاً في القطار قبل العشاء، فإنه جدير بكل ما نسبته جامو إليه من فضل وثقة).

إن هذه العملية تفسر بشكل جيد الطريقة التي تظل بها نجوم كثيرة ساخنة. لكن ثبت في النهاية أنها «ليست» أهم عمليات توليد الطاقة داخل الشمس. ومع تحسين علماء الفيزياء الفلكية لحساباتهم، وحصول زملائهم في مجال مراقبة النجوم ورصدها على تقديرات أكثر دقة عن كتل النجوم ودرجة جلائها، أصبح من الواضح أن دورة

الكربون هي مصدر الطاقة الغالب في النجوم التي تبلغ كتلتها مرة ونصف كتلة الشمس، وبالتالي تكون درجة حرارتها الداخلية أعلى، لكن لا يمكن لهذه الدورة سوى إنتاج كمية متواضعة من الطاقة عند درجات الحرارة داخل الشمس. ولم يؤد إدراك ذلك إلى إرباك علماء الفيزياء الفلكية، لأن بيت كان قد اكتشف آنذاك العملية النووية التي تحفظ للشمس حرارتها.

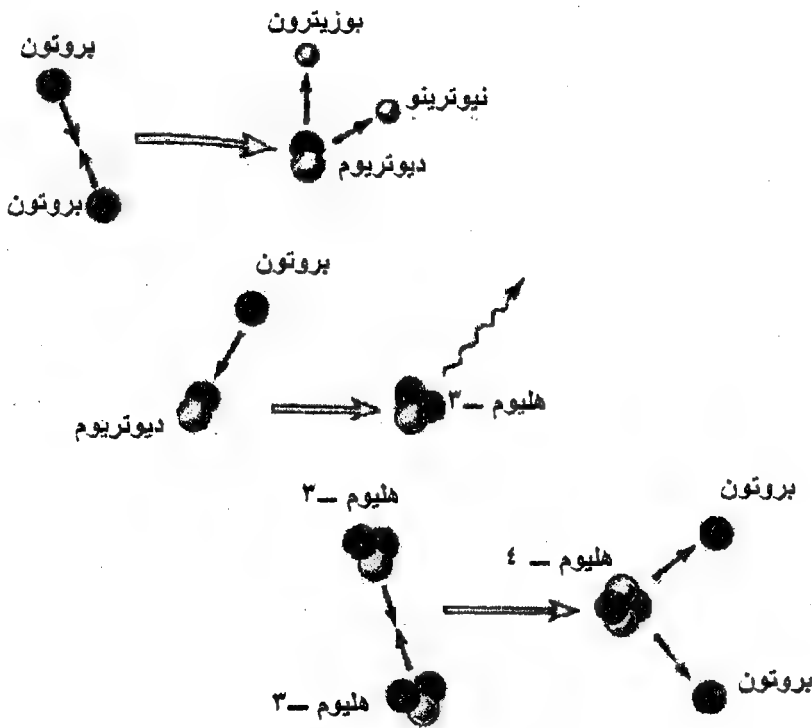


شكل (٤ - ٣): إذا كان داخل النجم كمية ولو قليلة من الكربون - ١٢، وكانت درجة الحرارة مناسبة، عندئذ يتحول الهيدروجين إلى هليوم وتتحرق الطاقة من خلال دورة كربون - نيتروجين - أكسجين. أبدأ بأعلى الرسم واتبع الأسهم في اتجاه عقارب الساعة، كل جسيم قادم من خارج الدائرة هو بروتون، والنتيجة النهائية هي تحويل أربعة بروتونات (أنوية هيدروجين) إلى جسيم ألفا واحد (نواة ذرة هليوم - ٤) بينما يُعاد تكوين نواة الكربون من جديد. الخطوط الموجية تشير إلى أشعة جاما.

هذه المرة، لم تكن هناك رحلة قطار، إنما عمل مستقر في جامعة كورنيل، مع شارل كريتشفيلد (Charles Critchfield) زميل بيت. وقد نُشرت لأول مرة في عام ١٩٣٨ أبحاثهما عما عُرف فيما بعد بسلسلة البروتون - البروتون، لكن علماء الفيزياء الفلكية لم يتمكنوا حتى الخمسينيات من الجزم بأن تلك السلسلة هي التي تنتج أغلب طاقة الشمس وليست دورة الكربون (وكان اختلاط الأمر فيما يتعلق بالمواد المكونة للشمس من أهم الأسباب التي جعلت

العلماء يستفرون كل هذا الوقت للتأكد . لقد أصبح كل شيء متسقاً بمجرد إدراك أن الشمس تتكون فعلاً من أكثر من ٩٥٪ من الهيدروجين والهيليوم، والتقدير الحديث يعتبر أن الشمس تتكون من ٧٠٪ هيدروجين، و٢٨٪ هيليوم، و٢٪ فقط عناصر ثقيلة).

تبدأ سلسلة البروتون - بروتون (P - P) بالتفاعل الذي عرّفه أتكينسون بأنه نقطة البداية للاندماج النووي داخل النجوم، وهو الاصطدام بين اثنين من البروتونات حيث يسمح لهما تأثير النفق بالاقتراب بدرجة كافية ليندمجا معاً ويكونا ديوترونًا، وينطلق من هذه العملية جسيم نيوتريينو وجسيم بوزيترون. وعندئذ يستطيع بروتون آخر أن يشق لنا نحو الديوترون وينتج من ذلك نواة ذرة هليوم - ٣، تحتوي على بروتونين ونيوترون واحد. وفي النهاية، عندما تتصادم نواتا هليوم - ٣ فإنهما تكونان نواة هليوم - ٤ مستقرة، وينطلق من التفاعل بروتونان (شكل ٥ - ٣).



شكل (٥ - ٣): إن شمسنا ليست ساخنة بما يكفي لتغذيتها بالطاقة بواسطة دورة الكربون - نيتروجين - أكسجين، وإن كانت هناك نجوم أخرى درجة حرارتها تقى بالغرض. إن شمسنا تحصل على طاقتها من عملية اندماج أخرى، سلسلة البروتون - بروتون. ويفضل تأثير النفق يستطيع اثنين من البروتونات أن يتحدا داخل الشمس ليكونا ديوتريوم، الذي يتكون منه في البداية هليوم - ٣ ثم هليوم - ٤. لكن حتى في قلب الشمس، يندر وجود الجسيمات السريعة التي تستطيع أن تستفيد من تأثير النفق وتندمج بهذه الطريقة.

حوالى ٩٥٪ من أنوية الهليوم - ٣ تلقى هذا المصير، أما الـ ٥٪ المتبقية فإن د الخيار بين مصيرين مختلفين قليلاً، سنعلم عنهما المزيد فى الفصل الرابع. وكما فى دورة الكربون - نيتروجين - أكسجين، فإن النتيجة النهائية هى تحول أربعة بروتونات إلى نواة هليوم - ٤، وانطلاق طاقة. ولما كانت دورة الكربون تحتاج - كما نعرف الآن - إلى درجات حرارة أعلى من ٢٠ مليون درجة لى تعمل بكفاءة، فإن سلسلة البروتون - بروتون (P - P) هى مصدر فعال للطاقة حتى عند درجة حرارة منخفضة لا تتجاوز ١٥ مليون كلفن.

من الصعوبة بمكان وضع كل ذلك فى إطار حياة يومية؛ فإن درجات حرارة مثل ١٥ مليون كلفن وكثافات تُقدر بعدة أضعاف كثافة الرصاص ليست شيئاً مألوفاً لنا. لكن من المفيد أن نحاول توضيح بعض سمات هذه التفاعلات النووية (والتي ستجعلكم تقدرون ما يواجهه المهندسون فى محاولة إعادة عمليات الاندماج كمصدر للطاقة فى محطات القوى هنا على الأرض).

أولاً: تبين حسابات تأثير النفق أن تفاعل بروتون - بروتون الأساس الذى يبدأ السلسلة، لا يحدث حتى عند درجة حرارة ١٥ مليون كلفن إلا إذا كانت البروتونات المتصادمة تسير بسرعة تزيد ٥ أضعاف عن المتوسط، أى تقع فى ذيل السرعة العالية فى توزيع السرعة. وحتى إذا توافر هذا الشرط فإن التصادم يجب أن يكون أمامياً ومباشراً تقريباً - لأن البروتون السريع الذى يضرب بروتوناً آخر ضربة عرضية أو غير مباشرة لن يكون قادراً على شق نفق عبر الحاجز الكهربى. وفى داخل الشمس، يسير بروتون واحد من كل مائة مليون بروتون بسرعة تكفى لأن يحدث تصادم أمامى مباشر بحيث تتم العملية. وما لم يلفظ أحد البروتونين المتفاعلين بوزيترون أثناء الجزء الصغير من الثانية الذى يكونان فيه ضمن مدى شق النفق بالنسبة لبعضهما البعض، فإنهما لن يكونا ديوترونًا مستقرًا - إن «نواة» تتكون من بروتونين فقط ليست مستقرة بذاتها. إن كل بروتون فى قلب الشمس يدخل فى تصادم مع بروتونات أخرى ملايين المرات كل ثانية. وبالرغم من ذلك، فإن حسابات الكم تبين أن البروتون الواحد قد يستغرق فى المتوسط ١٤ مليار عام للعثور على شريك قادر على الاتحاد معه وتكوين ديوترون عبر تصادم أمامى مباشر. وقد تستغرق بعض البروتونات وقتاً أطول من المتوسط، بينما قد يعثر البعض الآخر على شركائه بسرعة أكبر. يُقدر عمر الشمس بحوالى ٤,٥ مليار عام فقط - ولذلك فإن أغلب بروتوناتها لم تعثر بعد على شركائها.

لكن بالرغم من أن تصادمًا واحدًا من كل 1×10^{12} تصادم هو الذي يستهل سلسلة البروتون - بروتون، وهو ما يمثل معدل تفاعل بطيئًا بدرجة لا تصدق، ومع أن ٧٪ فقط من كتلة كل مجموعة من أربعة بروتونات تتحول إلى طاقة عند تكون نواة هليوم - ٤، فإن حوالى «خمسة ملايين» طن من المادة تتحول في كل ثانية إلى طاقة داخل الشمس، وذلك نظرًا للعدد الهائل من البروتونات داخل الشمس. وحتى يومنا هذا حولت الشمس ٤٪ فقط من مخزونها الأصلي من الهيدروجين إلى هليوم، رغم أن تفاعلات بروتون - بروتون ظلت مستمرة بشكل مطرد لمدة ٤,٥ مليار عام.

إن هذه الإحصائيات تصل بنا إلى نهاية القصة التي بدأتها في أول هذا الفصل لاكتشف لكم سر بقاء الشمس ساخنة. ولكن قبل الانتقال إلى أسرار أخرى للشمس نجدر الإشارة، ولو باختصار، إلى كيف أن تفاعلات نووية أكثر تعقيداً حدثت داخل نجوم أخرى، منذ زمن بعيد، تفسر وجودنا الآن على الأرض.

الغبار النجمي(*)

لدى علماء الفلك الآن دليل جيد على أن سحب الغاز التي تكونت منها النجوم في أول الأمر، بعد الانفجار العظيم الذي ولد منه الكون، لا تحتوى إلا على هيدروجين وهليوم (حوالى ٢٥٪ هليوم) مع آثار قليلة من عناصر خفيفة أخرى. أما كل ما عدا ذلك فقد صنع داخل النجوم.

المرحلة الأولى هي مرحلة تحويل الهيدروجين إلى هليوم. وهى تؤثر على طبيعة النجم الذى «احترق» فيه الهيدروجين، وطبقاً لحسابات علماء الفيزياء الفلكية، فقد غير هذا التحول حجم شمسنا ومظهرها على امتداد الـ ٤,٥ مليار عام السابقة. نظرًا لأن كل نواة منفردة تعمل مثل جسيم مستقل داخل «الغاز» فى قلب الشمس، ففى كل مرة تتحد فيها أربعة بروتونات لتكوين نواة هليوم يتناقص عدد الجسيمات المشاركة فى ضغط الغاز، الذى يجعل الشمس تتماسك، بمعدل ثلاثة جسيمات. وينخفض نتيجة لذلك ضغط الغاز ببطء، ومن ثم ينكمش قلب الشمس قليلاً ويصبح أكثر حرارة، وعندئذ يعوض ضغط الإشعاع الإضافى مقدار النقص الحاصل فى ضغط الغاز بالضبط. لكن انكماش قلب الشمس وارتفاع حرارته يعنى أن تتمدد الطبقات

(*) كتل من النجوم تبدو بالغة الصغر وكأنها ذرات الغبار. (المترجم).

«الخارجية» للشمس قليلاً، حيث تصبح أعلى حرارة نتيجة لزيادة تدفق الطاقة النابعة من القلب. وعلى امتداد حياتها وحتى الآن زاد سطوع الشمس بحوالى ٤٠٪. وعندما يبلغ عمرها ستة مليارات عام، أى بعد حوالى ١,٥ مليار عام، ستكون الشمس أكثر سطوعاً بنسبة ١٥٪. إن لذلك تداعياته المهمة بالنسبة للحياة على الأرض - فسيصبح مناخ النرويج كمناخ شمال أفريقيا، بشرط ثبات باقى العوامل، ولن يكون هناك فى القطب أنهار جليدية. لكن سيظل من الممكن على الأقل التعرف على الشمس.

لكن بعد ستة مليارات عام من الآن، عندما يبلغ عمر الشمس أكثر من عشرة مليارات عام، سيختلف شكل الشمس بحيث يصعب التعرف عليها. عندئذ، سيكون أغلب الهيدروجين فى قلبها قد تحول إلى هليوم، وبالرغم من وفرة الهيدروجين الموجود فى الجزء الخارجى من النجم، فإن هذه المناطق ليست ساخنة بما يكفى لتشغيل عملية البروتون - بروتون. وبدون حدوث اندماج للهيدروجين فى قلب الشمس، سينكمش هذا القلب على نفسه وترتفع درجة حرارته. وتتم عملية حرق الهيدروجين فى غلاف حول القلب المتوهج، مما يجعل الطبقات الخارجية تتمدد إلى أن يصبح حجم الشمس أكثر من ثلاثة أضعاف حجمها الحالى، وبالرغم من أن كمية كبيرة من الطاقة ستدفع خلال هذا النجم الضخم، فإن هذه الطاقة ستدفع عبر مساحة سطح شاسعة، ومن ثم سيكون السطح ذاته أبرد عنه حالياً، ولونه أحمر داكناً. وستصبح الشمس شبه عملاق أحمر، وستستمر فى الانتفاخ ببطء خلال المائتى مليون عام التالية لتصبح عملاقاً أحمر حقيقياً، حيث يبلغ طول قطرها مائة ضعف طوله الحالى وتبتلع عطارد، أقرب كوكب للشمس.

لكن عندئذ، سيحدث، طبقاً لحسابات علماء الفيزياء الفلكية، تغير آخر مثير. فطوال كل هذا الوقت، كانت درجة الحرارة ترتفع فى قلب الشمس، وعندما تبلغ حوالى مائة مليون كلفن يبدأ نوع جديد من الاندماج النووى، ألا وهو احتراق الهليوم، ويبدأ احتراق الهليوم فى شكل وهج، وينطلق من هذا التفاعل قدر هائل من الطاقة؛ حتى إن الطبقات الخارجية لهذا النجم العملاق تنفجر فى الفضاء، ويستقر القلب ليبدأ حياة جديدة كنجم يعتمد على احتراق الهليوم - وهو ما سيأخذنا إلى الخطوة التالية على طريق خيمياء النجوم.

إن أنوية الهليوم - جسيمات ألفا - لا تستطيع أن تتحد فى شكل أزواج لتكوين نواة مستقرة أخرى. إن النواة التى تتطابق مع نواتين متحدتين من الهليوم - ٤ هى نواة بريليوم - ٨ . وكما أشار كوكروفت ووالتون، فإن البريليوم - ٨ غير مستقر «على

الاطلاق». والطريقة الوحيدة الممكنة لاستخدام أنوية هليوم - ٤ في بناء شيء أكثر تعقيداً هي أن يصطدم جسيم ألفا ثالث مع نواة بريليوم - ٨ أثناء فترة حياتها المتناهية القصر - أي خلال واحد على $(10)^{14}$ من الثانية عقب اصطدام أول جسيم ألفا. وبالرغم من غرابة حدوث ذلك فإنه يحدث، وبدرجة كافية لكي يكون احتراق الهليوم مصدراً رئيساً للطاقة في النجوم السابقة لشمسنا في القافلة التطورية. والنتائج النهائية لهذه التفاعلات هو الكربون - ١٢، وهي نواة مستقرة.

وتحدث عمليات اندماج أخرى عند درجات حرارة أعلى في النجوم الأكثر تطوراً (تتطور النجوم ذات الكتل الأكبر أو تسير عبر دورات حياتها، بسرعة أكبر من النجوم ذات الكتل الأقل، ومن ثم فإن العديد من النجوم في مجرتنا قد ماتت بالفعل، ومع ذلك فإن شمسنا قد بلغت بالكاد خريف العمر). وبمجرد تكون كربون - ١٢ داخل النجم، يصبح من السهل نسبياً لجسيم ألفا آخر أن يشق نفقاً إلى النواة، لينتج أكسجين - ١٦. وبالتالي يكون الناتج النهائي لاحتراق الهليوم هو خليط من أنوية الكربون والأكسجين. ويحدث «احتراق الكربون» عند درجة حرارة ٥٠٠ مليون كلفن تقريباً (بعد أن يكون القلب قد انكمش على نحو ملائم)، وعندئذ يتفاعل زوج من أنوية الكربون لإنتاج خليط من النواتج تضم أنوية نيون، وصاديوم، وماغنسيوم. أما «احتراق الأكسجين»، الذي يحدث عند درجة حرارة مليار كلفن، فينتج عنه أنوية سليكون وكبريت وعناصر أخرى. ويُعد أهم ناتج للتحويل المشترك للأكسجين والكربون هو السليكون - ٢٨، الذي يُعد العنصر الرئيس في آخر مرحلة من عملية توليد الطاقة عن طريق الاندماج النووي وهي الأكثر تعقيداً.

إن «احتراق» السليكون، في الواقع، أكثر تعقيداً من مجرد الاتحاد بين اثنين من أنوية السليكون - ٢٨ لتكوين نواة حديد - ٥٦. إن جسيمات ألفا تتفصل، في الواقع، من نواة وترتبط بالنواة الأخرى، بواقع جسيم في كل مرة. ولكن النتيجة النهائية هي نفسها - يتحول السليكون إلى حديد. وعلى امتداد الطريق من الهليوم إلى الحديد، فإن العناصر التي تنتج بكميات كبيرة بواسطة هذه الخيمياء النجمية، هي، في الواقع، مجموعات من جسيمات ألفا، ذات كتل تساوي تقريباً أربعة أضعاف كتلة البروتون (هذا على وجه «التقريب» - وتذكر أن كل القضية تكمن في تحول بعض الكتلة إلى طاقة في كل مرحلة). وتلفظ بعض هذه الأنوية بوزيترونات عندما يتحول بروتون إلى نيوترون وصولاً إلى وضع أكثر استقراراً، لكن ذلك لا يغير رقم الكتلة كثيراً، نظراً لأن كتلة البوزيترون (أو الإلكترون) لا تزيد على واحد على ألفين تقريباً من كتلة النيوترون أو البروتون. إن

العناصر التى لا تساوى أرقام كتلتها مضاعفات أربعة تتكون نتيجة استيلاء أنوية هذه العناصر على نيوترونات ضالة من البيئة المحيطة، وعندئذ قد تلفظ إلكترونات لتحويل بعض هذه النيوترونات الإضافية إلى بروتونات. لكن كل شئ يتوقف عند الحديد - ٥٦، فأنويته هى أكثر ترتيبات البروتونات والنيوترونات استقراراً. وللحصول على أنوية ذات كتلة أكبر - مثل الرصاص أو اليورانيوم أو الذهب - يتعين تزويد الأنوية بطاقة تدفع الجسيمات الإضافية بالقوة نحو النواة.

وبدلاً من أن تكون كل نواة أخف من مجموع الأجزاء المكونة لها، فإن إضافة جسيم ألفا أو نيوترون إضافي يجعل النواة الجديدة أثقل من مجموع أجزائها، حيث إن الطاقة اللازمة لدفع الجسيمات معاً بالقوة تحولت إلى كتلة.

إن الطاقة الإضافية لا تكون متاحة إلا فى المراحل الأخيرة من حياة عدد قليل من النجوم الثقيلة. عندما ينفد الوقود النووى من تلك النجوم، فإن قلبها ينهار، ويسحب البساط من تحت أقدام الطبقات الخارجية، التى لم يعد يدعمها ضغط إشعاع أو ضغط غاز. وبينما تندفع هذه الطبقات بعنف وسرعة إلى الداخل على القلب المتوهج للنجم، فإن طاقة جاذبية ضخمة تتحرر ولا تدفع هذه الطاقة فقط أنوية العناصر الأخف كتلة من الحديد - ٥٦ بالقوة معاً لتكوين أنوية أكبر كتلة، لكن النجم كله يتفجر عندئذ إلى الخارج، وتنبعث العناصر التى كوَّنها النجم فى الفضاء بين النجوم. ويسمى مثل هذا النجم المتفجر «سوبرنوفا»، ولتصور كمية هذه الطاقة فإن السوبرنوفا يمكن أن تلمع، مؤقتاً، بدرجة سطوع مجرة كاملة من النجوم - تضم المجرة عشرات المليارات من النجوم مثل شمسنا. لكن الشمس نجم متواضع جداً فلن تلقى هذا المصير أبداً - فعندما ينفد وقودها النووى، ستتخذ بهدوء شكل كتلة فاترة من مادة النجم التى تتكون أساساً من الحديد شديد التوهج حتى الابيضاض، وتخبو الشمس وصولاً إلى الشيخوخة مثل النجوم المسماة بالقزَم الأبيض. إن تخمين أناكزاجوراس فيما يتعلق بتكوين الشمس كان يمكن أن يصح لو كان هو قد ولد بعد ذلك بعدة مليارات من السنين. لكن حتى أناكزاجوراس لم يتخيل قط أنه هو نفسه خلق من غبار نجمي.

إن «كل» العناصر فيما عدا الهيدروجين والهليوم (بل حتى بعض الهليوم) تم تصنيعها داخل النجوم، لكن هذه العناصر لا تقلت إلا من نوع واحد من النجوم هى السوبرنوفا. إن كتلة مجرتنا، مجرة درب اللبانة، تُقدر بحوالى ١٠٠ مليار ضعف كتلة شمسنا، ويقدر علماء الفلك، بناء على دراسات للتحليل الطيفي للنجوم، أن ١٪ فقط من هذه المادة، أى

مليار مرة كتلة الشمس، تكون فى شكل عناصر ثقيلة (وكلمة «ثقيلة» تعنى أى عنصر آخر بخلاف الهيدروجين والهليوم). وبما أن عمر المجرة يُقدر بحوالى عشرة مليارات عام، فإن ذلك يعنى أن كتلة ما يتحول إلى عناصر ثقيلة كل عام تساوى ١٠٪ من كتلة نجم مثل الشمس، مما يسمح للبعض أن يتصور احتمال حدوث انفجارات السوبرنوفا بصفة أكثر تكررًا عندما كانت المجرة أكثر شبابًا، وهو ما يتطلب انفجار سوبرنوفا واحدة، كل ثلاثين عامًا الآن تقريبًا، ويطلق كل انفجار كتلة من المواد المعالجة فى الفراغ تعادل ضعف كتلة شمسنا. وينتج عن السوبرنوفا غبار نجمى، ويشكل بعض هذا الغبار النجمى فى آخر الأمر سحبًا من الغاز تتهار مكونة نجومًا وكواكب جديدة. إن ذلك هو مصدر العناصر الثقيلة على الأرض وفى الشمس، التى هى نجم شاب نسبيًا. إن السليكون الموجود فى الحاسوب الذى أستخدمه لكتابة هذه الكلمات تكوّن داخل نجم عند درجة حرارة قدرها مليار درجة، وقذف به بعد ذلك فى الفضاء عند انفجار هذا النجم. لن يحدث ذلك قط لشمسنا، لأن كتلتها ليست كبيرة بما يكفى. لكن فى الستينيات من القرن العشرين، بدا لعلماء الفيزياء الفلكية أن بإمكانهم وصف تركيب الشمس من الداخل إلى الخارج، حتى دون أن يتمكنوا من رؤية ما بداخلها.

الشمس من الداخل إلى الخارج

يوصف تركيب الشمس، المستنتج من حسابات علماء الفيزياء الفلكية فى عقدي الخمسينيات والستينيات من القرن العشرين، بأنه مجموعة من الطبقات أو الأغلفة، وإن لم يتسن معرفة الشمس بشكل مباشر آنذاك. إن قلب الشمس - القلب الذى تتولد فيه الطاقة بواسطة العمليات النووية - يمتد إلى ربع المسافة من مركز الشمس إلى سطحها، ويمثل ١,٥٪ فقط من حجم الشمس. لكن تلك هى المنطقة التى يتم فيها نزع الإلكترونات من الذرات حيث تترك الأنوية تتراص معًا لتصل إلى كثافة اثنى عشر ضعف كثافة الرصاص، وإن كانت بالرغم من ذلك تسلك سلوك جسيمات الغاز المثالى. ويعنى ذلك أن نصف كتلة الشمس تتركز فى ذلك القلب الداخلى (تُقدر الكتلة الكلية للشمس، تقريبًا، بـ ٢٢٠ ألف مرة كتلة الأرض، بينما يساوى نصف قطرها ١٠٩ مرات نصف قطر الأرض) وتبلغ درجة الحرارة داخل مركز الشمس، طبقًا للنماذج المعيارية للفيزياء الفلكية، ١٥ مليون كلفن (وتُقدر درجة الحرارة فى الحافة الخارجية للقلب بحوالى ١٣ مليون كلفن)، فى حين يبلغ الضغط ٣٠٠ مليار ضعف الضغط الجوى على سطح الأرض. وفى ظل هذه الظروف الصارمة، فحتى الفوتون (كمّ من الإشعاع، المكوّن

الجسمي للضوء) لا يستطيع أن ينتقل لمسافة تُقدر بجزء من السنتيمتر الواحد فقط دون أن يصطدم بجسيم مشحون. إن الفوتونات الناتجة عن التفاعلات النووية هي أشعة جاما - وهي تتكون نتيجة «فقدان» الكتلة عند اتحاد أربعة بروتونات لتكوين جسيم ألفا. وعندما يتم امتصاص هذه انفوتونات بواسطة الجسيمات المشحونة، سرعان ما يُعاد إشعاع الطاقة في شكل أشعة إكس، وعندئذ تبدأ الطاقة الناتجة من الاندماج النووي في قلب الشمس تأخذ طريقها إلى الخارج عبر الشمس في شكل أشعة إكس.

ورغم أن كل إشعاع من أشعة إكس يسير بسرعة الضوء، فإنه يفعل ذلك ببطء شديد، بمعنى ما. فعند امتصاص فوتون وإعادة إشعاعه بواسطة جسيم مشحون في البلازما الساخنة خارج القلب، فإن الإشعاع يمكن أن يكون في أي اتجاه، بشكل عشوائي، بما في ذلك العودة من حيث أتى. والنتيجة أنه يتحرك في مسار عشوائي ومتعرج يُعرف بالسير العشوائي، ويبلغ طول كل خطوة من هذا المسار حوالي سنتيمتر واحد فقط. وعلى امتداد هذا السنتيمتر، يكون الفرق في درجة الحرارة صغيراً للغاية في هذا الجزء من الشمس، الذي يُسمى منطقة الإشعاع. لكن هذا الفرق الصغير يضمن أن عدد الفوتونات التي تشق طريقها إلى الخارج يكون أكثر بقليل من تلك التي تشق طريقها إلى الداخل عند كل مسافة من المركز. ويستغرق الفوتون، في الواقع، عشرة ملايين عام في المتوسط لينتقل من مركز الشمس إلى سطحها، في حين أنه إذا استطاع أن يطير في خط مستقيم من قلب الشمس إلى سطحها، فإن رحلته لن تستغرق سوى ٢,٥ ثانية. يسير الفوتون، أثناء كل هذا الوقت، بسرعة الضوء - أي أن طول مساره المتعرج يبلغ عشرة ملايين سنة ضوئية. وإذا أمكن جعل الخط المتعرج مستقيماً، فإنه سيُمتد لمسافة أبعد خمسة أضعاف من المسافة التي تفصل مجرة أندروميда المجاورة لنا، عن مجرتنا، درب اللبانة. ولو نظرنا إلى ذلك بشكل مختلف، فإنه يعني أن الظروف الحالية على سطح الشمس تماثل ما كان يفعله قلب الشمس منذ عشرة ملايين سنة. لا يمكننا، بمجرد النظر إلى سطح الشمس، التأكد من أن التفاعلات النووية في قلب الشمس لم تتوقف بالفعل عن تحويل الهيدروجين إلى هليوم في وقت ما أثناء الخمسة ملايين عام الماضية.

إن منطقة الإشعاع تمتد إلى مسافة مليون كيلو متر تقريباً، أي ما يمثل ٨٥٪ من المسافة من مركز الشمس حتى سطحها. وكلما اتجهنا إلى الخارج، أصبحت البلازما أقل حرارة وسُمكاً. وفي منتصف المسافة من مركز الشمس إلى السطح، تكون الكثافة مساوية لكثافة الماء، بينما تنخفض في ثلثي المسافة إلى الخارج لتصل إلى كثافة الهواء

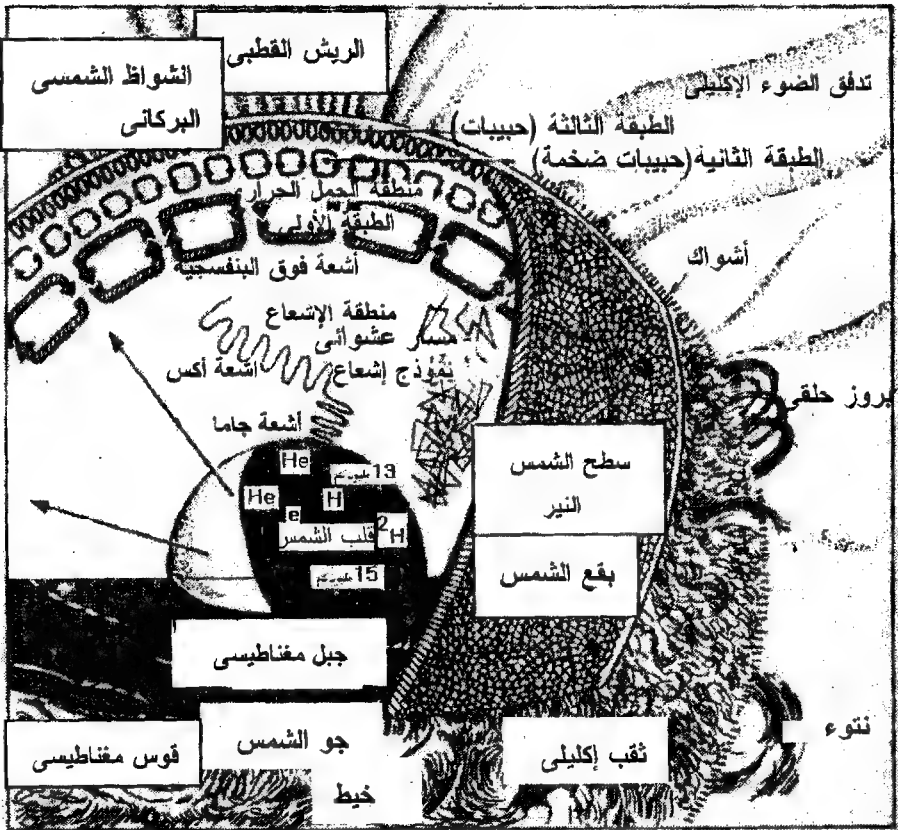
الذى نتنفسه. وعند الحافة الخارجية لمنطقة الإشعاع، تكون درجة الحرارة حوالى نصف مليون كلشن فقط، وكثافة المادة الشمسية لا تتجاوز ١٪ من كثافة الماء (لأن القلب ذا الكثافة العالية صغير جداً، فإن «متوسط» كثافة الشمس من المركز إلى السطح، يساوى مرة ونصف كثافة الماء). وفى ظل هذه الظروف، تستطيع الأنوية أن تلتصق بسحابة من الإلكترونات، وفى الوقت نفسه تنحط طاقة كل فوتون، لينتقل الإشعاع إلى أطوال موجية أكبر بحيث تتفاعل بشكل أقل عنفاً مع الجسيمات. عند هذه النقطة، تكون ذرات الغاز قادرة على امتصاص طاقة الفوتونات وتحتفظ بها، دون أن تشعها على الفور فى جميع الاتجاهات. إن الطاقة التى تمتصها تلك الذرات تجعلها ساخنة - فهى تضطرب بالطاقة، ويلقى بها فى قاع طبقة تُعرف بمنطقة الحمل الحرارى بواسطة الإشعاع الذى يصطدم، حرفياً تقريباً، بجدار من القرميد.

إن مادة منطقة الحمل الحرارى، التى يتم تسخينها من أسفل بهذه الطريقة، تستجيب مثل ماء فى إناء يتم تسخينه من أسفل على موقد. حيث ترتفع المادة الساخنة إلى أعلى عبر المنطقة وتحل محلها مادة أبرد من السطح تهبط إلى الأعماق - بمعنى آخر، فإن هذه المنطقة، الملتزمة باسمها، تقوم بالحمل الحرارى (المادة الأقل حرارة التى تهبط لتكملة دورة الحمل الحرارى وتحل محل الغاز الساخن الصاعد، تفقد طاقتها بأن تشع فوتونات عند السطح). ويمتد هذا النشاط المضطرب من عمق ١٥٠ ألف كيلومتر إلى السطح المرئى من الشمس، أى على امتداد الـ ١٥٪ الأخيرة تقريباً من نصف قطر الشمس. إن سمك منطقة الحمل الحرارى أقل قليلاً من نصف المسافة بين الأرض والقمر، ويُعتقد أنها تتكون من ثلاث طبقات رئيسة للحمل الحرارى، تلو الواحدة الأخرى.

إن قمة منطقة الحمل الحرارى تتطابق مع السطح المرئى الساطع للشمس. وفى هذه المنطقة الرقيقة جداً، المسماة بـ سطح الشمس النير (الفوتوسفير)، تكون درجة الحرارة ٥٨٠٠ كلشن فقط، ولا يزيد الضغط على سدس الضغط الجوى على الأرض، وتكون الكثافة أقل من كثافة الماء بمليون ضعف. وفى ظل هذه الظروف، لا يصبح بمقدور الذرات وقف تدفق الإشعاع نحو الخارج، ومن ثم تتدفق الفوتونات بحرية إلى الفضاء. ويأتى كل الضوء الذى نراه من هذه الطبقة، التى لا تمثل سوى ١٪ من نصف قطر الشمس (٥٠٠ كيلومتر). إن الطاقة فى هذا الضوء سافرت ملايين السنين بسرعة الضوء فى رحلتها المتعرجة عبر منطقة الإشعاع، ثم انتقلت عبر منطقة الحمل الحرارى فى حوالى تسعين يوماً (بسرعة متواضعة قدرها ٧٥ كيلومتراً فى الساعة، وإن كانت فى

خط مستقيم أساساً). وانطلقت بعد ذلك عبر الـ ١٥٠ مليون كيلومتر الأخيرة إلى الأرض في ثماني دقائق ونصف.

حتى وقت قريب ، كان الضوء النابع من طبقة سطح الشمس النير (الفوتوسفير) هو الذى يمدنا بكل المعلومات التى لدينا عن داخل الشمس. وكانت هذه المعلومات، فى الواقع، توحى لنا بما يفعله قلب الشمس منذ عشرة ملايين عام مضت. لكن فى السبعينيات والثمانينيات من القرن العشرين تطورت تقنيتان جديدتان، التقنية الأولى تسبر القلب ذاته لاكتشاف ما يقوم به فى الوقت الراهن، والتقنية الثانية «تنظر» وتفحص داخل الشمس من خلال طبقاتها السطحية. ولقد أثبتت هذه التقنيات الجديدة أن علماء الفيزياء الفلكية كانوا قريبين جداً فى حساباتهم من واقع الظروف القائمة داخل الشمس - لكن هذه التقنيات كشفت أيضاً أسراراً جديدة عن سلوك الشمس والنجوم، وقدمت ألغازاً أخرى للعلماء تستحق التفكير.



شكل (٦ - ٢) : تركيب الشمس، من الداخل إلى الخارج.

الفصل الرابع

عدد قليل جداً من الأشباح

فى منتصف الستينيات من القرن العشرين، تهاوت الصورة المُرْضية للتقدم المُطْرَد الذى حققه علماء الفيزياء الفلكية فى طريقهم إلى فهم كامل لطريقة عمل النجوم. لقد بدا الأمر فى النهاية وكأن علماء الفلك، برغم كل شىء، لم يتمكنوا من فهم «شىء بسيط» مثل النجم، على حد قول إدينجتون - وكان الحرج مضاعفاً، لأن عمليات الرصد التى أثبتت وجود خلل فى فهمهم لم تكن لنجم بعيد باهت، ربما يصعب على العلماء فهمه، وإنما تتعلق تلك العمليات بالشمس نفسها، التى تُعتبر الأقرب إلينا والنجم الذى يتعين علينا أن نفهمه بشكل أفضل. إن المشكلة التى برزت فى عام ١٩٦٨ واستمرت عشرين عاماً، تتلخص فى أن الشمس تنتج عدداً قليلاً من الجسيمات الشبح التى تُسمى نيوتريونات، وذلك إذا كانت النماذج القياسية لكيفية عمل النجوم صحيحة.

إن هذه الصعوبة فى فهم ما يجرى فى فئائنا الفلكى تُعتبر حالياً جزءاً من صعوبة أكبر فى فهم تطور الكون بشكل عام. ويمكن حل المشكلتين، المحلية والكونية، كما سنرى، فى حزمة واحدة محكمة. لكن يجب أولاً أن نرجع للوراء ستين عاماً أو أكثر، إلى نهاية العشرينيات من القرن العشرين، عندما كان علماء الفيزياء الذرية يتصارعون من أجل فهم لغز ظاهرة انحلال بيتا التى تحدثتُ عنها باختصار فى الفصل الثالث.

الحاجة إلى نيوتريونات

فى حالة انحلال بيتا، ينبعث إلكترون من النواة، ويُعرف أيضاً باسم شعاع بيتا. نحن نعلم الآن أن نيوترونًا داخل النواة الذرية يتحول فى العملية إلى بروتون - لكن فى العشرينيات من القرن العشرين لم يكن أحد يعرف شيئًا عن وجود النيوترونات، التى هى جسيمات تتساوى فى كتلتها تقريبًا مع البروتون (أى ألفى ضعف كتلة الإلكترون) ولكنها لا تحمل أية شحنة كهربائية. وكان من بين مكونات لغز انحلال بيتا؛ كيفية انبعاث الإلكترونات من الأنوية الذرية فى جميع الاتجاهات وعند مستويات مختلفة من الطاقة، دون أن يتوازن ذلك مع ارتداد النواة نفسها. كان الأمر يبدو متناقضًا مع قانون بقاء كمية التحرك - إذا انطلق إلكترون من النواة فى اتجاه ما، يجب أن ينطلق شئ آخر فى الاتجاه المضاد، كما يحدث عند إطلاق بندقية، فإنها ترتد عند إنطلاق الرصاصة منها. ولم يتمكن أحد من العثور على «الجسيم الآخر» المفقود الذى من المفترض أنه ينقل العزم بعيدًا عن النواة فى حالة انبعاث أشعة بيتا. ولبعض الوقت، فكر علماء الفيزياء بجدية فى احتمال أن تكون قوانين بقاء الطاقة وبقاء كمية التحرك معطلة بالنسبة للأنوية الذرية - بالضبط كما افترض من سبقوهم أن قانون بقاء الطاقة قد لا ينطبق على العمليات الإشعاعية. وجاء تفسير بديل فى عام ١٩٣٠ من عالم فيزياء ولد فى النمسا، ونال هذا التفسير تدريجيًا القبول باعتباره الحل الصحيح للغز.

ولد فولفجانج پولى (Wolfgang Pauli) فى فيينا عام ١٩٠٠، واشتهر بأنه أحد رواد المنظرين فى زمانه. حصل على درجة الدكتوراه عام ١٩٢٢ فى جامعة ميونخ، وعمل مع كل من ماكس بورن ونيلز بوهر فى العصر الذهبى لفيزياء الكم. وبحلول عام ١٩٣٠، أصبح پولى أستاذًا للفيزياء فى المعهد الفيدرالى للتكنولوجيا بزيورخ، ثم أصبح بعد ذلك مواطنًا سويسريًا. وكان پولى معروفًا بتفكيره الثاقب - فلقد تمكن من أن يلفت الأنظار إليه وهو طالب فى التاسعة عشرة من عمره عندما قدم أوضح تقرير فى ذلك الوقت عن نظريتي أينشتاين للنسبية - وتوصل إلى حل لمشكلة انحلال بيتا. وفى خطاب إلى ليز ميتينز (Lise Meitner)، وهو من علماء الفيزياء الذين أدت أبحاثهم إلى فهم عملية الانشطار النووى (العملية التى تمد القنبلة الذرية والمفاعلات النووية بالطاقة)، وقدم افتراضًا مباشرًا ودقيقًا بأن الطاقة "الإضافية" نُقلت بالفعل بواسطة جسيم آخر انبعث من النواة فى الوقت نفسه الذى انبعث فيه الإلكترون الذى تم رصده أثناء انحلال بيتا،

غير أن ذلك الجسيم المجهول لم يمكن رصده بالتكنولوجيا المتاحة في ذلك الوقت، وقد لا يتم رصده أبداً.

ونُشرت الفكرة رسمياً عام ١٩٣١، لكنها لم تحظ بتأييد مباشر بالرغم من سمعة بولي وشهرته. وتجدر الإشارة إلى أنه في عام ١٩٣١ لم يكن معروفاً سوى اثنين فقط من الجسيمات الأساسية، هما: الإلكترون والبروتون. وكان "اختراع" جسيم جديد يبدو خطوة كبيرة في ذلك الوقت عنه في العقود التالية - ويمكننا تخيل بعض علماء الفيزياء يرددون آنذاك بأنه إذا اخترع المنظرون جسيماً جديداً في كل مرة لا يتمكن فيها التجريبيون من موازنة حساباتهم، فإلى أين سينتهي الأمر بعلم الفيزياء؟ بالإضافة إلى أن جسيم بولي الافتراضي كان يبدو شاذاً للغاية بحيث يصعب تصديقه. فهو جسيم شحنته صفر وليست له كتلة تقريباً، وإلا لكان قد رُصد. وكما قال بولي، فإن الخاصية الوحيدة المسموح لهذا الجسيم بأن يمتلكها هي "اللف الذاتي"، وهي سمة خاصة بفيزياء الكم وتختلف عن مفهوم الدوران في حياتنا اليومية (فالشئ الكمي مثلاً يجب أن يدور بالكامل "مرتين" لكي يعود مرة أخرى إلى حيث بدأ).

وأطلق على الجسيم اسم "نيوترون". لكن الفكرة لم تحقق سوى تأثير ضعيف، حتى إن هذا الاسم سُرق عام ١٩٣٢ عند اكتشاف جسيم النيوترون الذي نعرفه حالياً. غير أن بولي وجد حليفاً بعد ذلك بعام واحد، وهو عالم الفيزياء الإيطالي إنريكو فيرمي (Enrico Fermi) الذي اقترح اسم "نيوترينو" (وهو تصغير للنيوترون)، وجعل هذا الجسيم يكتسب احتراماً بتطويره نظرية جديدة لتفاعلات الجسيمات الذرية فيما بينها، حيث يلعب فيها النيوترينو دوراً كاملاً. (ولقد ساعد على ذلك بالطبع أن النيوترون نفسه كان قد تم اكتشافه. فإذا كان قد أصبح مقبولاً وجود جسيم متعادل كهربياً، فإن علماء الفيزياء سيكونون أكثر استعداداً للقبول بإمكانية وجود جسيم آخر أيضاً).

إن وصف فيرمي لظاهرة انحلال بيتا مطابق أساساً للتفسير الحديث للظاهرة. عندما ينحل نيوترون فإنه ينبعث منه إلكترون ونيوترينو (وبتعبير أكثر تحديداً جسيم النيوترينو المضاد)، ويتحول إلى بروتون. وتوازنت حسابات العلماء، فالفهم الجديد لعالم الجسيمات، الذي تم تطويره في أعقاب تفسير فيرمي لنبوءة بولي ساعد في نهاية الثلاثينيات وبعدها في تطوير فهم تفاعلات الاندماج النووي الذي يحافظ على حرارة النجوم والشمس. وفي كل هذا العمل النظري، لعب النيوترينو دوراً رئيساً وأصبح لا غنى عنه. غير أن وجوده لم يثبت تجريبياً بشكل نهائي إلا في عام ١٩٥٦.

ولا يصعب تصور أسباب ذلك، لأن المفاجأة في الحقيقة هي أن يتم رصد النيوتريونات أصلاً. إن بولى نفسه قد اعتبر رصد هذا الجسيم أمراً بعيد الاحتمال، حتى إنه قرر في عام ١٩٣١ منح صندوق شمبانيا لأى عالم تجربى ينجح في هذا التحدى، وكان مطمئناً إلى أنه لن يخسر الرهان. وطبقاً للمفهوم الأصلي للنيوترينو، فإن شحنته صفر وكتلته صفر ويسير بسرعة الضوء (تفترض التحسينات اللاحقة أن كتلته صغيرة جداً ويسير بسرعة قريبة جداً من سرعة الضوء). إن النيوترينو لا يتفاعل مع الجسيمات الأخرى عبر القوة الكهرومغناطيسية التى تجعل الجزيئات تتماسك معاً، أو عبر القوة "القوية" التى تجعل مكونات الأنوية تتماسك مع بعضها البعض. وإذا استبعدنا قوة الجاذبية التى يكون تأثيرها ضئيلاً على جسيم له مثل هذه الكتلة الصغيرة، فإن النيوتريونات تتفاعل فقط مع باقى العالم ضمن ما يُسمى بالقوة النووية "الضعيفة" التى اقترحها فيرمى لشرح سلوك الأنوية أثناء عملية الانحلال. وهو تفاعل ضعيف جداً في الحقيقة - إذا انتقل شعاع من النيوتريونات، مثل تلك التى يُعتقد أنها تنتج من التفاعلات النووية داخل الشمس، خلال رصاص صلب لمسافة ٣٥٠٠ سنة ضوئية، فإن نصف هذه النيوتريونات فقط ستمتصها أنوية ذرات الرصاص على امتداد الطريق.

إذا كانت النظرية القياسية لكيفية عمل النجوم صحيحة، فإن العمليات النووية الجارية في قلب الشمس تنتج حوالى 2×10^{28} من النيوتريونات في كل ثانية. وإن حوالى عُشر مقدار الطاقة التى نرصدها في الضوء المرئى ينبعث فعلياً من الشمس في شكل نيوتريونات. لكن على خلاف الضوء المرئى، فإن النيوتريونات تأتى مباشرة من قلب الشمس. وفي طريق الخروج عبر الشمس ذاتها، يتم امتصاص نيوترينو واحد فقط من كل ألف مليار نيوترينو، في حين أن الأرض وأجسامنا شفافة على ما يبدو للنيوتريونات. ففى الوقت الذى تقرأ فيه هذه الكلمات، تنطلق المليارات من هذه الجسيمات الشبح بسرعة خلالك في كل ثانية، بدون أن يلاحظها جسدك أو أن تلاحظه هي.

إذاً، كيف يمكنك الإمساك بنيوترينو؟ إنك تحتاج إلى مكشاف (*) كبير (يحتوى على الكثير من الأنوية الذرية لكى تُتاح للنيوتريونات فرصة للتفاعل)، كما تحتاج للكثير من النيوتريونات (حيث قد يحدث أن توقف الأنوية التى يحتويها المكشاف عدداً من بين

(*) أداة للكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية أو عن النشاط الإشعاعى. (المترجم).

مليارات النيوتريونات التي تمر خلاله، حتى وإن كانت فرصة أى نيوترينو للتفاعل صغيرة). وتم إنجاز العمل لأول مرة عام ١٩٥٦ على يد فردريك رينز (Frederick Reines) وكليد كوان (Clydie Cowan). لقد استخدم صهرجاً يحتوى على ألف رطل من الماء ووضعه بجانب مفاعل سافانا ريفر النووى فى الولايات المتحدة. وطبقاً للنظرية، فإن النيوتريونات المتدفقة من المفاعل النووى القريب والتي ستجتاز صهرج الماء، يجب أن يكون عددها أكبر ثلاثين مرة من عدد النيوتريونات الشمسية التي تصل إلى المكشاف من الفضاء عبر ١٥٠ مليون كيلومتر، وبالتالي تكون هناك فرصة للإمساك بنيوترينو أو اثنين فى الصهرج كل ساعة. إن التفاعل الذى بحث عنه رينز وكوان، خلال مجموعة من الاختبارات أطلقاً عليها اسم "مشروع الشبح الصاخب"، هو تفاعل نقيض انحلال بيتا.

فى هذا التفاعل، يضرب النيوترينو المضاد بروتوناً ويحوّله إلى نيوترون، بينما يحمل البوزيترون (الجسيم المضاد للإلكترون) الشحنة الموجبة بعيداً. وكان البوزيترون هو الذى تم رصد حقيقته فى تجربة نهر سافانا. وقد ظهرت فى عام ١٩٥٣ تلميحات عن "إشارة النيوترون" المتوقعة، أما التأكيد الكامل على صحة فكرة بولى فقد جاء فى عام ١٩٥٦. وعندئذ بحث رينز وكوان ببرقية إلى بولى يُعلنانه بنجاحهما، ومنحهما بولى بدوره صندوق الشمبانيا الذى راهن به وهو فى الخامسة والعشرين من عمره.

لقد جعل الاكتشاف الناجح للنيوترينو الفيزياء النووية تقف على أقدام راسخة أكثر من أى وقت مضى، وأكسب المنظرّون ثقة متجددة. كما أوحى بتحدٍ جديد ينتظر عالماً تجريبياً يتمتع بقدر كبير من الشجاعة. إذا كان من الممكن رصد النيوتريونات - أو على الأقل رصد أحداث تُعزى مباشرة للنيوتريونات - القادمة من مفاعل نووى هنا على الأرض، فقد يكون من الممكن التقاط قليل من النيوتريونات الشمسية التي تمر بنا وخاللنا بالمليارات فى كل ثانية. إن فكرة "تلسكوب" لا يرصد سطح الشمس وإنما يوفر طرقاً لسبر الظروف داخلها مباشرة، ملكت خيال رجل كرّس منذ ذلك الوقت حياته لاصطياد النيوتريونات الشمسية.

لقد اعتبر العديد من المنظرّين جهود هذا الرجل مضيعة للوقت. كانوا يعرفون كيف تعمل النجوم - لقد أخبرهم النموذج القياسى للشمس بحرارتها الداخلية والضغط الموجودة هناك، والتفاعلات النووية داخل الشمس. وكان من المتصور أن هذا المجهود

الضخم للإمساك ببعض النيوتريونات لمجرد إثبات أن النظريات صحيحة، أمر غير مُجد. لكنهم كانوا على خطأ.

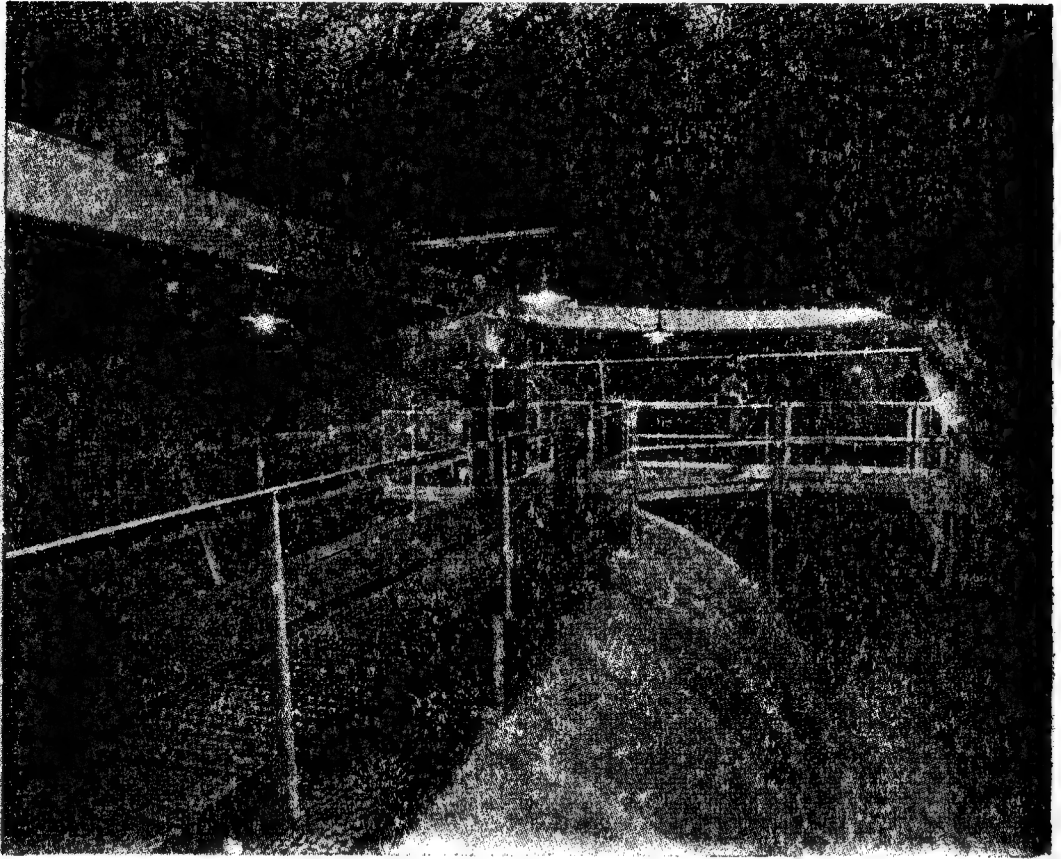
مكشاف دافيز

لقد كان الرجل الذى قِيلَ التحدى هو ريموند دافيز الابن (Roymond Davis, jr.) الذى كان عضواً بمعمل بروكهافن القومى، بلونج آيلند. ولم تكن نيويورك المكان الملائم لبناء مكشاف النيوتريونو الشمسى. فهناك العديد من الأشياء الأخرى التى يمكن أن تتفاعل مع الأنوية الذرية وتجعلها تتحول، خاصة الأشعة الكونية - البروتونات والإلكترونات وجسيمات أخرى تضرب الأرض من الفضاء. وكان على دافيز وزملائه أن يبنوا مكشافاً محمياً من أى شئ فيما عدا النيوتريونات الشمسية. وكانت المفارقة أن النيوتريونات هى فقط التى تمر عبر الأرض دون أن تتأثر، وبالتالي كان الحل الأمثل هو دفن التلسكوب الشمسى الجديد عميقاً فى باطن الأرض حيث لا يرى قط ضوء الشمس. وكان يتعين أن يكون المكشاف كبيراً لزيادة احتمال التقاط ولو القليل من العدد الضخم من النيوتريونات الشمسية التى تمر فى كل ثانية خلال كل سنتيمتر مكعب من حجمه.

وكانت البداية فى عام ١٩٦٤، حيث أجريت التجربة على عمق ١٥٠٠ متر تحت الأثليين سطح الأرض، فى منجم للذهب فى ليد جنوبى ولاية داكوتا؛ حيث أُزيل سبعة آلاف طن من الحجارة لإفساح مكان للمكشاف، وهو عبارة عن صهريج بحجم حمام سباحة أوليمپى (شكل ١-٤) يحتوى على ٤٠٠ ألف لتر من مادة فوق كلوريد الأثليين (C_2Cl_4) الذى يُستخدم عادة كسائل تنظيف فى عمليات "التنظيف الجاف" وكان الكلور فى هذا السائل المنظف هو ما خطط دافيز لاستخدامه لرصد النيوتريونات الشمسية.

يعتمد اختيار هذا المكشاف على الفكرة التالية: إن حوالى ربع ذرات الكلور الموجودة طبيعياً على كوكب الأرض توجد فى شكل نظير الكلور أى كلور - ٣٧، حيث تحتوى نواة ذرة هذا النظير على ١٧ بروتوناً و ٢٠ نيوترونًا. ومع وجود أربع ذرات كلور فى كل جزيء فوق كلوريد الأثليين، فإن ذلك يعنى بشكل تقريبي وجود ذرة كلور - ٣٧ فى كل جزيء من سائل التنظيف الموجود فى الصهريج - أى حوالى 2×10^{21} "هدف" محتمل للنيوتريونات لكى ترتطم به. وفى الحالات النادرة للغاية التى يحدث فيها أن يتفاعل نيوتريونو قادم من

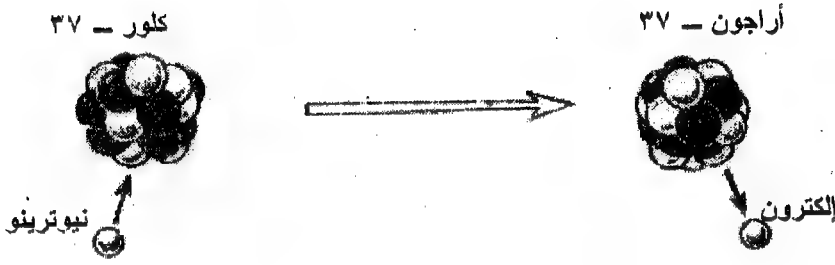
الشمس مع نواة ذرة كلور - ٣٧، فإن أحد النيوترونات في هذه النواة تتحول إلى بروتون وينبعث إلكترون - نوع من انبعاث قسري الاشعة بيتا. وستحتوى النواة الناتجة على ١٨ بروتونا و ١٩ نيوترونا، ومن ثم فهي "تنتمي" إلى عنصر الأراجون. وبشكل خاص إلى نظيره أراجون - ٣٧ (شكل ٢ - ٤). وتنطلق ذرة الأراجون، ومع اصطدام المزيد من النيوتريونات مع أهدافها، تتراكم ذرات الأراجون في صهريج سائل التنظيف كغاز مذاب.



شكل (١ - ٤) : مكشاف النيوتريون مدفوناً على عمق كبير تحت الأرض في منجم للذهب. ويمتلئ صهريج "التسكوب" بـ ٤٠٠ ألف لتر من سائل التنظيف.

وإذا تمكن فريق بروكهافن من إحصاء عدد ذرات لأراجون - ٣٧ فى الصهريج، فإنهم بذلك سيعرفون كم نيوتريناً تفاعل مع أنوية الكلور فى ذلك الصهريج.

لكن القيام بتلك المهمة ليس بالأمر السهل، لأن الأراجون - ٣٧ نفسه غير مستقر وينحل ليعطى كلور - ٣٧ مرة أخرى باقتناصه إلكترونًا، ولا يمكن الانتظار إلى ما لا



شكل (٢ - ٤) عندما يتفاعل نيوترينو منبعث من الشمس مع نواة كلور - ٣٧ فى الصهريج المدفون فى منجم للذهب، فإنه يحولها إلى نواة أراجون - ٣٧. ويُحصى مكشاف دافيز فى الحقيقة عدد أنوية الأراجون الناتجة من هذه العملية.

نهاية لى يتراكم الأراجون فى الصهريج. ويُقدَّر العمر النصفى للأراجون - ٣٧ بحوالى ٣٤ يومًا، وبالتالي يتعين تنظيف الصهريج من الأراجون وعد ذراته كل بضعة أسابيع.

إن تجربة دافيز، والتقنية المستخدمة لإحصاء ذرات الأراجون بشكل خاص، تُعد أجمل نماذج العمل فى كل الفيزياء. ولقد فاز علماء بجائزة نوبل من أجل أعمال أقل من ذلك بالطبع، وحتى الملخص الموجز الذى يتسع له المجال هنا يكفى لأن يبعث على الانبهار. أولاً يتعين "تطهير" صهريج سائل التنظيف الضخم من الأراجون - ٣٧، وذلك بإدخال غاز الهليوم فى شكل فقائيع عبر الصهريج. فى الواقع، تتم إضافة بعض غاز الأراجون الخامل سواء أراجون - ٣٦ أو أراجون - ٣٨ إلى السائل، للمساعدة على تدفق أراجون - ٣٧، إلى الخارج. وتمتزج ذرات الأراجون (بما فى ذلك ذرات الأراجون - ٣٧) مع الهليوم، وتخرج من الصهريج مع الغاز. ويتعين بعد ذلك فصل ذرات الأراجون عن الهليوم (وهو عمل تقنى بطولى لكنه يُعتبر بسيطاً بالمقارنة بباقى العمل). وقد استفاد فريق بروكهافن فى هذه المرحلة من حقيقة أن أراجون - ٣٧ ينحل ليعطى كلور - ٣٧ مرة أخرى. وعندما يحدث هذا الانحلال، تطلق الذرة المعنية كم طاقة مميزاً ومحددًا بدقة.

وقامت عدادات: محمية من الأشعة الكونية، بتسجيل كل ومضة نشاط للأراجون على امتداد فترة نصل إلى ٢٥٠ يوماً، وسجلت كل نبضة لها "توقيع" الطاقة الخاصة بذلك التحول. وبعد كل هذا المجهود، تم تسجيل ١٢ نبضة في المتوسط في كل دورة من التجربة. وهو عمل بارع ومذهل.

وظهرت النتائج الأولى للتجربة عام ١٩٦٨، وبدأ أنها تتعارض مع تنبؤات النظرية القياسية للشمس. ولم يهتم أحد في ذلك الوقت بهذا التعارض، لأنه كان يصعب تصديق أن التجربة الشاقة تم إجراؤها بالفعل بدرجة كافية من الدقة بحيث تكون دليلاً يعتمد عليه لما يجري داخل الشمس. وكان علماء الفيزياء الفلكية ينتظرون بثقة "تحسن" الأرقام التجريبية وأن تتفق مع تنبؤات نظرياتهم. وقد أعيدت التجربة عدة مرات خلال العشرين عاماً الماضية، وتم اختبار كل خطوة مراراً وتكراراً (مثلاً، بإضافة كمية معلومة من الأراجون - ٢٧ للصهرج ومتابعة رد فعل المكشاف). وكانت الإجابة واحدة دائماً. لقد تمكن دافيز وزملاؤه من رصد ثلث عدد النيوتريونات الشمسية التي يتعين رصدها حسب النظرية. ويتم، في المتوسط، إنتاج ذرة أراجون ٢٧ واحدة فقط في الصهرج كل يومين أو ثلاثة أيام. ويمكن إدراك التداعيات طويلة المدى لذلك بالنظر فقط إلى كيف وضع المنظرون تنبؤاتهم الأكيدة القائلة بأنه يتعين على دافيز أن يرصد ثلاثة أضعاف عدد النيوتريونات الذي رصده فعلاً..

تنبؤات أحفقت

لقد وصفت في الفصل الثالث كيف يتم إنتاج الطاقة داخل النجوم بشكل عام، وفي الشمس بشكل خاص. وطبقاً للنموذج القياسي، يتم إنتاج ما يقل عن ٢٪ من طاقة الشمس عن طريق دورة الكربون - النيتروجين - الأكسجين، إن الشمس ببساطة ليست ساخنة بما يكفي لكي تسود هذه العملية. وبالرغم من ذلك، فإن هذا التفاعل هو أول مصدر طاقة نووية نجمية تم اكتشافه، بالصدفة في عام ١٩٢٨. إن علماء الفيزياء مقتنعون بأن أغلب طاقة الشمس تأتي من عملية اندماج تُعرف بسلسلة بروتون - بروتون (P-P). من المفيد تلخيص كيف تعمل هذه السلسلة، مع التأكيد على الطرق التي تحرر النيوتريونات على امتداد عملية الاندماج التدريجي لأنوية الهيدروجين (بروتونات) وتحولها إلى أنوية هليوم (جسيمات ألفا).

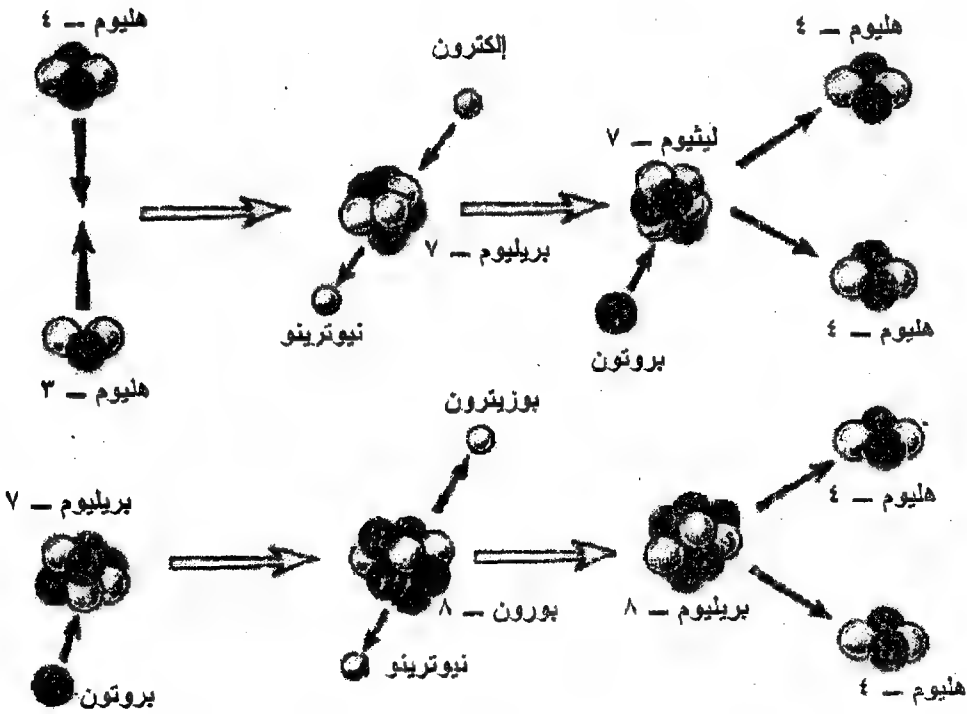
إن الشمس تتكون أساساً من الهيدروجين، وفي قلب الشمس تنفصل أنوية ذرات الهيدروجين (البروتونات) عن إلكتروناتها وتسير بسرعات كبيرة، وتصطدم بشكل مستمر مع بروتونات أخرى وترتد عنها. ويحدث من وقت لآخر، في مثل هذا الاصطدام أن يلتصق بروتونان معاً، ويتحرر بوزيترون من أحد البروتونين حيث يتحول إلى نيوترون. والنواة التي تتكون من بروتون ونيوترون هي ديوترون، أي نواة ذرة ديوتريوم، نظير الهيدروجين. وينطلق نيوتروينو برفقة البوزيترون، ويمر على ما يبدو دون أن يعوقه شيء خارج الشمس إلى الفضاء. ولكي نتذكر أصل هذه النيوتريونات يُشار إليها بأنها نيوتريونات (بروتون - بروتون)، وهي لا تختلف عن النيوتريونات الأخرى التي تنتج عن تحول البروتونات إلى نيوترونات لكنها ذات طاقة مميزة. وتحدث الخطوة التالية في عملية الاندماج عندما يتحد بروتون مع ديوترون لتكوين نواة هليوم - ٣، ولا يتضمن هذا التفاعل أي نيوترينو.

ولا تستطيع أنوية الهليوم - ٣ أن تتحد مباشرة مع البروتونات، لكن عندما تصطدم أنوية ذرتي هليوم - ٣ يمكن أن يحدث تفاعل أكثر تعقيداً. إذ ينطلق "بروتونان" في هذا التفاعل، ويتركان وراءهما نواة هليوم - ٤ التي تحتوى على بروتونين ونيوترونين. بشكل عام، فإن أربعة بروتونات تحولت إلى نواة هليوم - ٤، مع انطلاق جزء من الطاقة التي تحتفظ بالشمس ساخنة، بالإضافة إلى جسيمَي بوزيترون يصاحب كل واحد منهما نيوترينو. هذه النيوتريونات "لا" يستطيع دافيز رصدها.

في كل النشاط الذي يحدث في قلب الشمس، قد تصطدم أحياناً نواة هليوم - ٣ ونواة هليوم - ٤ وتكوّن نواة بريليوم - ٧. وفي ظل الظروف القائمة داخل الشمس يستطيع البريليوم - ٧ أن يتصرف بطريقتين. الطريقة الأولى أن تلتقط نواة البريليوم - ٧ إلكترونًا وتطرد نيوتريناً، لتصبح نظير ليثيوم (ليثيوم - ٧)، حيث تحول أحد بروتوناتها إلى نيوترون في تفاعل عكسي للانحلال بيتا. ويستطيع الليثيوم - ٧ عندئذ أن يلتقط بروتوناً آخر وينشق إلى نواتين من أنوية هليوم - ٤ (تفاعل كوك كروفت - والتون). والاختيار البديل، أن تلتقط نواة البريليوم - ٧ بروتوناً أولاً لتصبح نواة بورون - ٨، التي تنحل في أقل من ثانية طاردةً بوزيترونًا ونيوتريناً لتصبح نواة بريليوم - ٨ وتنشق عندئذ إلى نواتي هليوم - ٤. إن النيوتريونات الناتجة من هذه التفاعلات (أساساً نيوتريونات البورون - ٨) هي التي يستطيع دافيز رصدها. ويتم إنتاج هذه النيوتريونات بشكل نادر مقارنة مع نيوتريونات البروتون - بروتون، لكنها تحمل طاقة أكبر بكثير.

إن نيوتريونات البروتون - بروتون ليس لديها الطاقة الكافية لإحداث تحول الكلور - ٣٧ إلى أراجون - ٣٧. أما نيوتريونات البريليوم - ٧ ، فلهيها طاقة تكفى لقيام بعضها بذلك، فى حين أن لدى نيوتريونات البورون - ٨ وفرة من الطاقة تسمح بحدوث هذا التحول.

إذاً، كم عدد النيوتريونات التى يتم إنتاجها بواسطة كل عملية داخل الشمس، وكم عدد النيوتريونات التى يستطيع دافيز رصدها طبقاً للنموذج القياسى؟ عند هذه المرحلة، تتحد النظرية والتجربة حيث يخبر علماء الفيزياء الفلكية علماء فيزياء الجسيمات بالظروف فى مركز الشمس طبقاً للنموذج القياسى. أما العلماء التجريبيون فى معمل كيلوج للطاقة الإشعاعية، فيقومون بإحداث تسارع لأشعة من البروتونات والديوترونات



شكل (٣ - ٤): إن النيوتريونات التى يرصدها دافيز تأتى فى الحقيقة من تفاعل جانبي لسلسلة بروتون - بروتون (P-P). إذ تندمج أحياناً فى قلب الشمس نواة هليوم - ٤ مع نواة هليوم - ٣، وليس مع نواة هليوم - ٤ أخرى، وينتج عن ذلك بريليوم - ٧، الذى يستطيع أن يتبع طريقين مختلفين. موضحين هنا، ليكون فى النهاية نواتى هليوم - ٤. إن النيوتريونات الناتجة من هذه التفاعلات، وأساساً نيوتريونات البورون - ٨ من السلسلة السفلية، هى التى يستطيع دافيز رصدها.

وأنوية هليوم - ٣ وأنوية هليوم - ٤ فى مسارات الجسيمات، ويراقبون تفاعلها وقيسون العدد الناتج من الأنواع المختلفة من الأنوية. كما يمكنهم أن يعيدوا التفاعلات التى تجرى فى قلب الشمس - كل على حدة - وقيسوا كفاءة تلك التفاعلات مقارنة بكميات معلومة كعينات إحصائية.

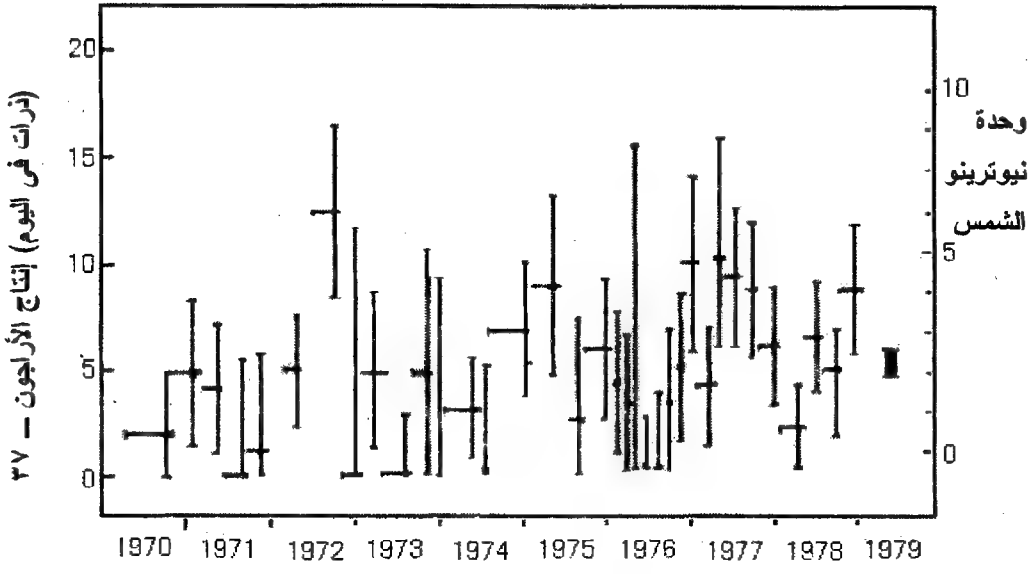
إن الظروف التى يتم فيها تصادم الأشعة تختلف تماماً، بالطبع، عن تلك الموجودة داخل الشمس. ويحب ويلى فوولر (Willy Fowler) من معمل كيلوج أن يستعير ملحوظة إدينجتون الشهيرة قائلاً: «إن ما يمكن حدوثه فى الشمس يكون صعباً للغاية فى معمل كيلوج للطاقة الإشعاعية». لكن بمجرد قياس العينات الإحصائية على امتداد نطاق معين من مستويات الطاقة، يمكن استكمال الأرقام استقرائياً واستنتاج معدلات التفاعل المناسبة فى ظل ظروف الضغط ودرجة الحرارة التى يقول المنظرون، إنها موجودة داخل الشمس.

عندما فعل فوولر وزملاؤه ذلك، وجدوا أن تفاعل البروتون - بروتون (P-P) الرئيس يجب أن ينتج فيضاً من ستين مليار نيوترينو يخرق كل سم^٢ من كوكب الأرض فى كل ثانية. لكن للأسف، ليس لهذه النيوتريونات الطاقة الكافية لكى يتم رصدها بواسطة تجربة دافيز. وبالنسبة للتنبؤات الخاصة بنيوتريونات البريليوم - ٧ والبورون - ٨، فهى حساسة جداً لدرجة الحرارة الصحيحة التى تغذى بها الحسابات. فالحرارة المركزية للشمس طبقاً للنموذج القياسى تُقدر بـ ١٥ مليون كلفن. ويتعين عند درجة الحرارة تلك، أن تجتاز أربعة مليارات نيوترينو البريليوم - ٧ كل سم^٢ من كوكب الأرض فى الثانية الواحدة، كما يتعين أن تحدث هذه النيوتريونات خمسة تفاعلات "شهرياً" فى صهريج منجم الذهب. وتقضى أرقام النموذج القياسى أن يصل إلى الصهريج فيض من نيوتريونات البورون - ٨ يُقدر بثلاثة ملايين نيوترينو فى الثانية لكل سم^٢، لكن هذه النيوتريونات ذات طاقة عالية بحيث يجب أن تحدث عشرين تفاعلاً فى الشهر. بشكل عام، يجب أن تنتج تجربة دافيز ٢٥ تفاعلاً فى الشهر. لكن، على امتداد عشرين عاماً لم تُسجل سوى تسعة تفاعلات فى المتوسط شهرياً يمكن أن تُعزى للنيوتريونات الشمسية.

هناك طريقة أخرى للتعبير عن هذه النتيجة، لكنها تفضى إلى الشئ نفسه. لقد شارك عالم الفيزياء النظرية جون باكول (John Bahcall) بشكل حميم فى البحث عن

النيوترينات الشمسية، وراقب بدقة شديدة كل مصادر الخطأ الممكنة فى الحسابات. وكان باكول قد ولد فى ٣٠ من ديسمبر عام ١٩٣٤ بولاية لويزيانا، وتخرج فى جامعة بيركلى عام ١٩٥٦، وحصل على درجة الدكتوراه من جامعة هارفارد عام ١٩٦١. وبالرغم من أن تدريبه المبكر كان فى مجال الفيزياء النظرية، فإنه خلال الستينيات من القرن العشرين عمل لعدة سنوات فى Caltech، حيث "تحول" إلى الفيزياء الفلكية. وقد أجرى منذ عام ١٩٦٣ حسابات نظرية متطورة ومعقدة ومتزايدة الدقة لمعدل النيوترينات المتوقع رصده على كوكب الأرض، وقد أتاح بحث قدمه عام ١٩٦٤ الأساس النظرى لثقة دافيز بإمكانية بناء مكشاف يستطيع بالفعل "رؤية" النيوترينات الشمسية.

وابتكر باكول وحدة قياس سُميت "وحدة النيوترينو الشمسى" أو SNU، لقياس تفاعلات مثل تلك التى رصدها دافيز. ويتنبأ النموذج القياسى بأن مكشاف دافيز يجب أن يسجل ما بين ست أو ثمانى وحدات نيوترينو شمسى تقريباً، أخذاً بعين الاعتبار عدم التيقن فى الحسابات. وتتطابق التفاعلات المرصودة مع وحدتين أو ثلاث وحدات من وحدة النيوترينو الشمسى تلك. أى أن المكشاف يرى بشكل تقريبي ثلث عدد النيوترينات المتوقعة فقط. لماذا؟



شكل (٤ - ٤) : قيمة قياسات النيوترينو الشمسى على امتداد عقد كامل، مُعبراً عنها بعدد ذرات الأراجون ٣٧- المنتجة وكذلك بوحدات النيوترينو الشمسى (SNU)، ويتنبأ النموذج الشمسى بـ "فيض" يتراوح بين ست وثمانى وحدات نيوترينو شمسى، غير أن القياسات أظهرت ثلث هذا الرقم فقط. هذه هى "مشكلة النيوترينو الشمسى".

معالجات يائسة

أما إننا لا نفهم كيف تتكون النيوتريونات فى التفاعلات النووية أو لا نفهم كيف تعمل النجوم - على الأقل لا نفهم بالقدر الذى نتصوره. لقد تحطمت تماماً أية آمال تبقت بين المنظرين باحتمال وجود خطأ فى تجربة دافيز قد تُخرجهم من المأزق، وذلك عندما أكدت نتائج أظهرها مكشاف يابانى فى عام ١٩٨٨ نقص النيوتريونات الشمسية (هذا المكشاف تم تصميمه فى الواقع لغرض آخر، لكنه قادر على رصد نيوتريونات البورون - ٨ القادمة من الشمس).

ورغم أن أحداً لم يشك حقيقة فى نتائج دافيز، إلا أن هذا التأكيد طمأن فريقه، غير أنه ترك المنظرين فى حالة ارتباك شديد، فيما يتعلق بتحديد ما إذا كان يتعين عليهم مراجعة نظرياتهم فى مجال الفيزياء الفلكية أم فى مجال فيزياء الجسيمات. وأثار هذان البديلان لتفسير نتائج تجربة دافيز رعب المنظرين، مما دفعهم إلى بحث يائس عن معالجات لمشكلة النيوترينو الشمسى. لكن قبل أن نعرض لبعض هذه الأفكار الشاذة، من المفيد أن نأخذ قدراً من الراحة، على الأقل فيما يتعلق بالجزء الإيجابى من الأنباء التى برزت من تجربة منجم الذهب. لقد أشرنا إلى أن النموذج القياسى للشمس يفترض أن أقل من ٢٪ من طاقة الشمس تتولد نتيجة دورة الكربون - النيتروجين - الأكسجين. وإذا كانت كل طاقة الشمس تتولد بواسطة هذه الدورة، فإن معدل التقاط النيوترينو المتوقع فى مكشاف دافيز لن يقل عن ٢٥ وحدة نيوترينو شمسى (SNU). وهو ما لم يتم رصده إطلاقاً، مما يؤكد أن المنظرين كانوا على حق فيما يتعلق، على الأقل، بالجزء الأكبر من عملية توليد الطاقة.

إلى أى مدى يمكن الثقة فى حساباتهم الأخرى؟ لقد تم فى بداية ومنتصف الستينيات من القرن العشرين تنقيح تقديرات معدل إنتاج النيوترينو فى الشمس، حيث فكر المنظرون فى ضرورة أن تتضمن حساباتهم عوامل إضافية. ولقد حضهم على ذلك علمهم بأن دافيز وفريقه يعملون فى مكشاف للنيوترينو، فبدلوا جهداً مكثفاً لتكون توقعاتهم دقيقة قدر المستطاع، وذلك بإدخال كل عامل وثيق الصلة بالموضوع واستخدام أفضل نماذج الكمبيوتر لكيفية عمل الشمس. ولأنه لم يسبق لأحد أن قام بمثل هذا الجهد المكثف، فلقد استغرق العمل بضع سنوات لتطوير أفضل النماذج الممكنة. غير أنه بحلول ١٩٦٩، نفذت أية تأثيرات "جديدة" يمكن تضمينها، مما لا يترك سوى إمكانية

تعديل متواضع للنموذج القياسي. وظل علم الفيزياء عند هذه النقطة منذ ذلك الوقت، وبالرغم من التحسن الكبير لإمكانات الكمبيوتر، فإن التنبؤات ظلت حول ست وحدات نيوترينو شمسي (SNU). إن الطريقة الوحيدة لتخفيض الأرقام بالقدر المطلوب، هي إحداث تغيير عنيف في النموذج القياسي للشمس.

إن كلمة "عنيف"، في هذه الحالة، كلمة نسبية. لأن تجربة دافيز ترصد فقط نوع النيوترينات الشمسية التي يتسم معدل إنتاجها ذاته بحساسية عالية لدرجة الحرارة في قلب الشمس. ومن ثم، فإن أبسط طريقة للتوفيق بين النظريات والملاحظات هي تخفيض درجة الحرارة في قلب الشمس بمقدار ١٠٪ عن النماذج القياسية - أقل قليلاً من ١٤ مليون كلفن بدلاً من حوالي ١٥ مليون كلفن. ولا شك أن إدينجتون لم يكن ليعتبر ذلك خطوة عنيفة، خاصة عندما تتذكر أن أول محاولة قام بها لحساب درجة الحرارة في قلب الشمس أعطت رقم ٤٠ مليون كلفن، وبعد مراجعة هذا الرقم تم تخفيضه إلى ١٥ مليون كلفن، وبالتالي فإن خفض مليون درجة أخرى يجب ألا يبعث على القلق. لكن مقدار التعقيد والدقة الظاهرية للنماذج الحديثة لكيفية عمل النجوم، أدى إلى أن أي تعديل في درجة حرارة مركز الشمس ولو بمعدل ١٠٪ فقط "لا يمكن" دمجها في النموذج القياسي.

وعندما أصبح ذلك مفهوماً بشكل جيد، حاول علماء الفيزياء الفلكية، بكل الطرق الممكن تخيلها، إحداث التغيير الضروري في تركيب الشمس، حيث طرحوا تبعاً كل جزء من النموذج القياسي (وفي بعض الأحيان كل النموذج دفعة واحدة!). إن القليل فقط من هذه الأفكار يمثل محاولات جادة لمعرفة لماذا لا يفي النموذج القياسي للشمس بالفرض، ولتدبر كيف سيؤثر ذلك على فهمنا للنجوم بشكل عام. كانت أغلب هذه الأفكار، كما وصفها جون باكول، "حلول حفل كوكتيل"، أي أنها أفكار حلم بها البعض (ربما بعد عدة كوؤوس) على أساس أخذ مشكلة النيوترينو الشمسي وحدها في الاعتبار، دون محاولة تقديم أية رؤية جادة فيما يتعلق بتركيب النجوم بشكل عام.

لقد تضمنت أكثر الاقتراحات جدية فكرة أن الأجزاء الداخلية عند مركز الشمس تدور بسرعة أكبر من سرعة دوران طبقاتها السطحية. وأن هذا الدوران السريع قد يساعد على تماسك الشمس في مواجهة شد قوة الجاذبية الخاصة بها والمتجه نحو الداخل، ويقلل الضغط ودرجة الحرارة في مركزها. وتفترض حجة مماثلة أن هناك

مجالاً مغناطيسياً قوياً داخل الشمس، يقاوم الانضغاط الناجم عن قوة الجاذبية. لكن أيّاً من هذه التأثيرات كان سيشوه شكل الشمس ويجعلها منبعجة عند القطبين (أكبر عبر خط الاعتدال عنها من القطب إلى القطب المقابل)، بدلاً من أن تبدو كروية، ولم يتم رصد مثل هذه التشوهات.

ولقد نشرت بعض المجلات العلمية الجادة أفكاراً أشد غرابة وشدوذاً، مثل: إمكانية وجود ثقب أسود صغير في قلب الشمس ينتج أكثر من نصف طاقتها، وافترض آخر بأن الشمس تشكلت على مرحلتين، وأن لها قلباً غنياً بالحديد يحيط به "غلاف جوى" من الهيدروجين الذي تجمّع من الفضاء في تاريخ لاحق. وذلك فضلاً عن فكرة أخرى (نقيض هذا الاقتراح) تقول إنه لا توجد داخل الشمس أية عناصر ثقيلة على الإطلاق، بحيث تستطيع الأشعة أن تهرب من القلب بسهولة أكبر منها في حالة النموذج القياسي. ومن أكثر المعالجات اليائسة لمشكلة النيوتريно الشمسى إثارة للحيرة والفضول، الافتراض القائل بأن الشمس قد لا تكون في حالة "طبيعية" في الوقت الراهن. إن النماذج القياسية للمنظرين تقول لنا فقط، برغم كل شيء، عن متوسط الظروف داخل الشمس على المدى الطويل.

وكما أدرك كلّفن وهلمهولتز، فإن الشمس قد لا تكون في حالة مستقرة الآن. وبدفع هذه الفكرة إلى الأمام، بشروط حديثة، فإن الشمس بإمكانها أن تحافظ على سطوعها الحالي للملايين السنين بأن تنكمش قليلاً وتحول طاقة الجاذبية إلى حرارة، وذلك بافتراض توقف كافة التفاعلات النووية الدائرة داخل الشمس. قد لا تصلح فكرة كلّفن - هلمهولتز كتفسير لكيفية احتفاظ الشمس بحرارتها في حين تطورت الحياة على كوكب الأرض، إلا أنها تقدم، احتمالياً، آلية نافعة متاحة للتخفيف من أى عجز مؤقت في ذخيرة الطاقة النووية. إن كل الأفكار التي قُدمت "لتفسير" كيف يمكن للشمس أن تتوقف مؤقتاً عن الغليان كانت، للأسف، من نوع حلول حفل الكوكيتل.

ربما أن الهليوم الناتج عن اندماج البروتونات، قد تراكم كنوع من الرماد الكوني في مركز الشمس، مما أدى إلى أن يتوقف الاندماج لبعض الوقت، وعندئذ يحدث فُواق داخلي كبير وتنقلب كل المنطقة المركزية للشمس بواسطة الحمل الحراري، مما يؤدي إلى مزج المزيد من البروتونات من الخارج لكي تبدأ الأمور تسير من جديد. أو ربما أن النظام الشمسى مر مؤخراً خلال سحابة من الغاز والتراب في الفضاء، مع تجمع مادة

على "سطح" الشمس؛ مما عطل مؤقتاً تدفق الحرارة إلى الخارج وسبب تعديلات داخلية قللت من النشاط النووي. ربما - لكن كل مثل هذه الحلول تبدو مُخترعة وتحتال على المشكلة. كما أنها تثير سؤالاً جديداً: إذا كانت الشمس تنتج بالفعل "عادة" فيض النيوتريونات الذي تنبأ به النموذج القياسي، وإنها خفضت إنتاجها مؤقتاً، أليس أمراً غريباً أن نكون هنا لنشهد هذا الحادث النادر جداً في تاريخ الشمس؟

يمكننى الاستمرار، لكن عرض المزيد من المعالجات اليائسة يصبح عقيماً. عندما تفترض إحدى النظريات أن ثابت الجاذبية نفسه يتغير مع عمر الكون، وبالتالي فإن كل الحسابات القياسية لكيفية تطور الشمس خاطئة، فإن الوقت قد آذن بالتوقف. ولا ينطبق ذلك على كل التخمينات - فعندما تخفق الأفكار القياسية، يصبح التخمين جزءاً مكماً للعلم. لكن التخمين البناء يجب أن تتم مقارنته بالملاحظة والتجربة لتخليصه من شطحات الخيال الشاذة، وقد فشلت كل التغييرات المقترحة للنموذج الشمسي القياسي في هذا الاختبار. ولقد ذكر باكول في مقال نقدي نُشر في عام ١٩٨٥ أنه ودافيز تعقبا، خلال الفترة ما بين عامي ١٩٦٩ و١٩٧٧، كل "التفسيرات" الجديدة للغز النيوترينو الشمسي عند نشرها، وأحصيا تسع عشرة فكرة لما يمكن أن يكون خطأ في النموذج القياسي، أي أن "معدل الأفكار المقترحة تراوح بين ٢ إلى ٣ أفكار سنوياً". وعندما يكون التخمين غير مقيد لهذه الدرجة، تصبح الحاجة ملحة لتناول مختلف للمشكلة. وقد تحقّق ذلك في السنوات القليلة الماضية، على يد علماء فيزياء الجسيمات الذين قدموا عدة اقتراحات، وهي وإن كانت في إطار التخمين، إلا أنها تميزت على الأقل بإمكانية اختبارها في المستقبل القريب.

حلول تخمينية

"إذا" كنا نفهم كيف تعمل النجوم، و"إذا" كان لدينا الأعداد الصحيحة من أجل العينات الإحصائية المشاركة في تفاعلات البورون - ٨ ، عندئذ يبقى احتمال واحد. افترض بعض علماء الفيزياء، في السبعينيات من القرن العشرين أننا ربما لا نفهم "النيوتريونات" بالدرجة التي نعتقدها. هل من الممكن أن يحدث شيء ما للنيوتريونات وهي في طريقها من الشمس إلينا، بحيث حتى وإن كان العدد "الصحيح" من النيوتريونات ينطلق من الشمس في البداية، فإن ثلث هذا العدد فقط يتبقى لكي يرصده دافيز عند بلوغه كوكب الأرض؟

إن الفكرة ليست مجنونة تماماً، لأن العديد من الجسيمات المعروفة حالياً تنحل بهذه الطريقة وتتحول إلى شيء آخر بعد فترة مناسبة من الوقت طالبت أو قصرت. حتى النيوترون ينحل في غضون دقائق قليلة (إذا لم يكن جزءاً من نواة ذرية)، إلى بروتون وإلكترون. لكن هناك مشكلة بسيطة في العثور على شيء آخر يمكن أن تتحول إليه النيوتريونات. وطبقاً لأفضل فهم حديث لعالم الجسيمات، فإن البروتونات والنيوترونات ليست في الحقيقة جسيمات "أساسية"، لكنها تتكون من نوع آخر من الجسيمات، الكوارك (Quarks)، التي هي ذاتها المكوّن الأساسي لبناء المادة. من ناحية أخرى، فإن الإلكترونات جسيمات أساسية حقيقية، ولا تنحل قط، وتنتمي النيوتريونات إلى نفس أسرة الإلكترونات والتي تُسمى لبتون(*) ولا يوجد شيء أكثر بساطة يمكن أن ينحل إليه النيوتريون، لكن ربما يمكن أن يتحول إلى نوع آخر من النيوتريون.

لقد طُرحت هذه الفكرة، التي سُميت تذبذب النيوتريون، في بداية الستينيات من القرن العشرين على يد فريق بحث سوفيتي وآخر ياباني يعمل كل منهما بشكل مستقل عن الآخر. ويرجع الدافع وراء تخمينهم إلى اكتشاف جسيم سُمى الميون (Muon) في عام ١٩٣٦. إن الميون يماثل الإلكترون لكن كتلته تساوي مائتي ضعف كتلة الإلكترون، وهو عضو في أسرة اللبتون، لكن مكانه في عالم الجسيمات ظل لغزاً حتى عقد السبعينيات. إن الميون إذا ترك وحده سينحل إلى إلكترون ونيوتريون ونيوتريينو مضاد خلال ٢,٢ ميكروثانية. وبالطبع كان من غير الممكن رصد النيوتريونات في عقد الثلاثينيات، ولم يحدث تقدم يُذكر في فهم الميون حتى عام ١٩٥٩، عندما اقترح برونو بونتيكورفو، الذي وُلد في إيطاليا وكان يعمل وقتذاك في دوبرنا بالاتحاد السوفيتي، وكذلك ملقّن شوارز، بجامعة كولومبيا في الولايات المتحدة - تقنية لخلق أشعة من الميونات وشركائها من النيوتريونات، وهي التقنية التي قام بتنفيذها بعد ذلك مركز أبحاث CERN وبروكهافن. وبحلول عام ١٩٦٢، أثبت شوارز وزملاؤه أن النيوتريونات المرتبطة بالميونات مختلفة عن النيوتريونات المرتبطة بالإلكترونات. فعندما يضرب نيوتريون إلكترونات فإنه سيعطى دائماً بروتوناً زائداً إلكترون، أما عندما يضرب نيوتريون ميون نيوترون فإنه سيعطى دائماً بروتوناً زائداً ميون.

وهذا الاكتشاف هو الذي قاد إلى افتراض أن النيوتريون الإلكتروني قد يكون قادراً على تغيير علاماته. وطبقاً لهذا الافتراض، ربما يكون شعاع من النيوتريونات، الذي كان

(*) جسيم نووي ضئيل الكتلة مثل الإلكترون واليوترون (Lepton).

يحتوى فى الأصل نيوتريونات إلكترونية فقط، قد تحول بشكل ما إلى خليط من النيوتريونات الميونية والنيوتريونات الإلكترونية. إن تداعيات ذلك بالنسبة لتجربة دافيز التى تستطيع أن ترصد فقط النيوتريونات "الإلكترونية" واضحة. وفى عام ١٩٧٥، أصبحت ملفتة للنظر حقيقة أن دافيز رصد ثلث العدد المتوقع من النيوتريونات الإلكترونية، وذلك مع اكتشاف عضو آخر فى أسرة اللبتونات، هو جسيم تو (Tau)، وهو جسيم مثل الإلكترون والميون فيما عدا أن كتلته ضعف كتلة البروتون. وتم بشكل عام افتراض وجود نوع ثالث من النيوتريونات مرتبط مع جسيم تو، وإن كان لم يتم التأكد من ذلك بالتجربة.

ومعنى ذلك، أنه إذا أصبح شعاع من النيوتريونات الإلكترونية، بطريقة ما، خليطاً من النوعيات الثلاث الممكنة وبأعداد متساوية، فإن ما سيتم رصده هو ثلث العدد الأصلي للنيوتريونات الإلكترونية بالضبط. وقد يفشل هذا التطابق بالطبع إذا تم اكتشاف المزيد من أفراد عائلة لبتون. ولكن هناك ثلاثة أنواع رئيسة فقط من أزواج الكوارك، يرتبط كل زوج منها بواحد من أزواج اللبتون الثلاثة، ولدى علماء الفيزياء أسباب مضمونة يمكن الاعتماد عليها للاعتقاد بأن تلك هى كل أنواع الجسيمات الأساسية التى يتسع لها الكون. لكن يظل هناك سؤال هو: "كيف" يمكن لشعاع من النيوتريونات الإلكترونية أن يغير علاماته - وهى عملية شبهها راينز بكلب يسير عبر الطرقات ويحول نفسه إلى قط أثناء سيره؟.

إن هذا النوع من التحول، فى ظل الظروف المناسبة معروف، فى الحقيقة، فى عالم الجسيمات. إن العامل الحاسم هنا هو أن "الظروف المناسبة" تتضمن أن يكون للجسيمات المعنية كتلة صغيرة - لا يجب أن تكون كتلتها كبيرة ولكن يجب أن تكون أكبر من الصفر. قد "افترض" الجميع دائماً أن كتلة النيوترينو صفر بالضبط، ولكن لم يسبق أن قاسها أحد قط - لنفكر قليلاً فى صعوبة رصد النيوترينو، لنترك جانباً وزنه، وستعلم سبب ذلك. هناك طرق لتقدير كتل النيوتريونات، وذلك بقياس كمية الطاقة التى تنقلها أثناء بعض التفاعلات. وقد ادعى باحثون سوفيت بقوة وثبات، فى السنوات الأخيرة، أن تجاربهم أثبتت أن النيوتريونات لها كتلة، وأن كل نيوترينو يساوى حوالى ثلاثين إلكترون فولت، أى ٠,٠٠٦ ٪ من كتلة الإلكترون. ولم يوافق باحثون آخرون على ذلك - حيث وضعت تجاربهم حدوداً فقط لأقصى كتلة ممكنة للنيوترينو، وهذه الحدود

لا تتجاوز عشرين إلكترون فولت. ولا يعنى ذلك أن النيوترينو "له" هذه الكتلة، وإنما يعنى، طبقاً لتلك التجارب، أن ليست هناك وسيلة لتكون له كتلة "أكبر"، بل يمكن أن تكون كتلته أقل بكثير - ويمكن حتى أن تساوى صفراً. من الواضح أن الموقف يتطلب تجارب أكثر وأفضل، وأن هناك خلافاً ليس من السهل حله فى المستقبل المباشر بحيث يرضى الجميع. لكن على الأقل يظل من الوارد أن يكون للنيوترينات كتلة صغيرة، ومن ثم يمكنها أيضاً أن تغير علاماتها أثناء ثمانى الدقائق والنصف التى تستغرقها رحلتها من الشمس إلى كوكب الأرض. فى هذا الإطار، يمكن أن يغير كل نيوترينو من "نكهته" أو صفته المميزة، ملايين المرات كل ثانية بشكل متكرر، وفى هذه الحالة تكون تجربة دافيز قد التقطت فقط النيوترينات التى حدث أن أصبحت "نيوترينو إلكترونى" لحظة اصطدامها بصهرجه الذى يحتوى على سائل التنظيف.

رغم أن پونتيكورفو واليابانى مازامى ناكاجوا قد افترضا قبل ذلك بسنوات أن النيوترينات الإلكترونية والميونية (وهما النوعان المعروفان فقط فى الستينيات) يمكن أن تغير شكلها بهذه الطريقة، فإن القوة الدافعة لاكتشاف جسيم التو (Tau) والاهتمام المتنامى بمشكلة النيوترينو الشمسى، دفع المجرىين إلى محاولة قياس هذا التأثير الافتراضى فى بداية الثمانينات من القرن العشرين. وكان الرجل الذى قبل التحدى خبيراً فى اكتشاف النيوترينات وهو فردريك راينز (Frederick Reines)، الذى يعمل حالياً مع هنرى سوبل وآلين پازيرب. وعاد راينز إلى موقع انتصاره المبكر فى مفاعل سافانا ريفر، وحاول أن يكتشف هل تتغير النيوترينات الإلكترونية المنتجة فى المفاعل إلى نوعية أخرى من النيوترينات عند زيادة سرعتها. وكان الاختبار الذى استخدموه يتوقف على الطريقة المختلفة التى تتفاعل بها النيوترينات المختلفة مع أنوية الماء الثقيل (أكسيد الدوتريوم) الموضوعة فى صهرج على بعد ١١,٢ متراً من قلب المفاعل.

إن بعض التفاعلات النووية التى تتضمن نيوترينات إلكترونية تنتج أثناء التفاعل اثنين من النيوترونات، فى حين أن التفاعلات النووية الأخرى التى تتضمن أنواعاً أخرى من النيوترينات لا تنتج سوى نيوترون واحد فى كل مرة. لكن لكى تختلط الصورة، فإن بعض النيوترينات الإلكترونية تعطى أيضاً نيوترونات مفردة، غير أن راينز وزملاءه كانوا على ثقة أن بإمكانهم، بالتحليل الدقيق استنتاج نسبة النيوترينات الإلكترونية التى تحولت (إذا كان هناك مثل هذا التحول) إلى النوعيات الأخرى من النيوترينات خلال

الرحلة القصيرة إلى مكشافهم. لقد ادعوا في ربيع عام ١٩٨٠ أنهم وجدوا دليلاً على هذا التحول في نوعية النيوتريـنو لكن هذه الادعاءات لم تصمد للفحص والتدقيق. وأثبتت تجارب أخرى عدم وجود دليل على مثل هذا التحول، ومثل ادعاءات السوفييت الخاصة بقياسات كتلة النيوتريـنو، يظل ادعاء راينز وفريقه، بأنهم رصدوا فعلاً تذبذبات النيوتريـنو، مثار جدل. غير أن الفكرة كما قلت من قبل، يمكن على الأقل إخضاعها مبدئياً للتجربة.

وظل الحال على ما هو عليه حتى ربيع عام ١٩٨٦. حيث ظهر فجأة مرة أخرى على مسرح الأحداث خبير في الفيزياء الشمسية، إنه هانز بـث الذي قدم في عام ١٩٢٨ مع شارل كريتشفيلد تفاصيل سلسلة البروتون - بروتون (P-P) التي تحتفظ بالشمس ساخنة. وقد تبنّى ونشر هذه المرة اقتراحاً لحل مشكلة النيوتريـنو الشمسي قام بتطويره اثنان من الباحثين السوفييت، هما: إس. بي ميكيف (S.P. Mikheyev) وأيه. يو. سميرنوف (A.yu. Smirnov)، على أساس اقتراح قدمه عالم فيزياء أمريكي هو لنكولن ولفنستين (Lincoln Wohlfeinstein). لقد أسر خيال العلماء والجمهور على حد سواء ذلك الاهتمام الإنساني بعالم يعود بعد حوالى خمسين عاماً إلى مجال بحث كان رائداً فيه، وضمن ذلك دفعة دعاية للرؤية الجديدة لفكرة تذبذب النيوتريـنات. وتستحق هذه الفكرة أن نذكرها باختصار، وإن كانت الأحداث قد تجاوزتها بعد ذلك.

إن الفكرة الرئيسة لموضوع تغير النيوتريـنو طبقاً لميكيف - سميرنوف - ولفنستين (M-S-W) هي أن هذا التحول الذي يطرأ على النيوتريـنات الإلكترونية إلى أنواع أخرى يجب أن يحدث "داخل" الشمس، كنتيجة للتفاعل بين النيوتريـنات والمادة التي تتكون منها الشمس. مرة أخرى، يتعين أن يكون لبعض النيوتريـنات المعنية كتلة. لكن هذه المرة، ثبت أن الكتلة يجب أن تكون صغيرة، وأن النيوتريـنو الإلكتروني ذاته لا يحتاج بالضرورة أن يكون له كتلة. وطبقاً لنموذج (M-S-W)، فإن النيوتريـنات الإلكترونية لا تقوم إلا بتفاعل ضعيف جداً مع الجسيمات الشمسية وهي في طريقها إلى خارج الشمس. وتأثير ذلك هو زيادة الطاقة التي تحملها النيوتريـنات، وبما أن الكتلة قابلة للتحول لطاقة والعكس صحيح، فإن ذلك يكافئ زيادة كتلتها - ولكن ليس بالقدر الكبير. وعندما تزيد كتلة النيوتريـنو الإلكتروني عن كتلة النيوتريـنو الميوني، فإن الأول ينحل إلى الثاني. غير أن النيوتريـنو الميوني عندما يتكون بهذه الطريقة فإنه لا يتغير مرة أخرى إلى نيوتريـنو إلكتروني.

إن كمية الكتلة - الطاقة التي يستطيع أن يلتقطها نيوترينو إلكترونى بهذه الطريقة تتوقف على كثافة المادة فى الشمس، وهى كثافة صغيرة جداً؛ الأمر الذى يحد من المدى الممكن لكتل النيوتريونات، إذا كان هذا التأثير يعمل بالشكل المفترض. خاصة، أن كتلة النيوترينو الإلكترونى يجب أن تكون أساساً صفراً، وكتلة النيوترينو الميونى لا تتعدى ٠,٠١٪ إلكترون فولت. وقد يبدو ذلك غير قابل للتصديق ومن غير المحتمل، وتخميناً مثل أى من "حلول" حفل الكوكبيل لمشكلة النيوترينو الشمسى، باستثناء، حقيقة، أن هناك مجموعة من النظريات تتنبأ بأن كتلة النيوتريونات يجب أن تتراوح بين ٠,٠٠٠٠١ إلكترون فولت ومائة إلكترون فولت. ويُطلق على هذه النظريات اسم نماذج «الأرجوحة»، وهى تمثل إحدى محاولات المنظرين للعثور على إطار رياضى يمكن من خلاله وصف كل العالم المادى - نظرية موحدة كبرى. لكن هناك نسخاً أخرى للنظريات الموحدة الكبرى، وإن كان نموذج الأرجوحة هو المفضل هذه الأيام، وهو ما لا يعنى الكثير فى الحقيقة.

غير أن الذى نسف، فى الحقيقة، تفسير (M - S - W) لتجربة دافيز، هو شىء حدث منذ زمن بعيد فى مجرة بعيدة، بعيدة جداً.

ارتباطات كونية

فى بداية عام ١٩٨٧، رصد علماء الفلك انفجاراً ضوئياً من نجم فى مجرة سحابة ماجلان الكبيرة، وهى مجرة صغيرة جارة لمجرة درب اللبانة. وكون هذا النجم المتفجر ما يُعرف بالسوبرنوفا (*)، وأصبح هذا الحدث يُعرف بسوبرنوفا «أيه» ١٩٨٧ (1987A). إن المسافة إلى مجرة سحابة ماجلان الكبيرة هى ١٦٠ ألف سنة ضوئية، ومعنى ذلك أن ضوء الانفجار حدث منذ ١٦٠ ألف عام، عند قياسه على الأرض، فى رحلته إلينا عبر الفضاء. لقد حدثت السوبرنوفا بالفعل منذ ١٦٠ ألف سنة مضت قبل بداية أحدث عصر جليدى على كوكب الأرض. وهى أقرب سوبرنوفا تم رصدها من الأرض منذ اختراع التلسكوب، وكانت موضوع جدل وبحث وفحص شديد. وكانت أيضاً أول سوبرنوفا يتم رصدها ليس فقط بواسطة الضوء المرئى، ولكن بالنيوتريونات التى تم إنتاجها أثناء الانفجار.

(*) نجم متفجر فائق التوهج. (المترجم).

وسجلت تجربتان في مناطق مختلفة من العالم ظهوراً مفاجئاً للنيوترينات التي تم تفسيرها الآن بأنها ناشئة عن السوبرنوفثا. التجربة الأولى في كاميوكا، بوسط اليابان، حيث استخدم فريق بحث مكشافاً، عبارة عن صهريج يحتوى على ٢,١٤٠ طن من الماء كجزء من برنامج يحاول تحديد ما إذا كانت البروتونات تنحل. وهذا المكشاف شديد الحساسية للنيوترينات أيضاً (فهو في الحقيقة، المكشاف الذي أكد دقة تجربة دافيز)، شريطة أن يكون لدى هذه النيوترينات بعض الطاقة. وعندما وردت أنباء السوبرنوفثا، فتش الفريق الياباني مرة أخرى في سجلاته ووجد أن تجربته "رصدت" تفجر ١١ حالة رصد للنيوترينو في مدى ١٢ ثانية، بمستويات طاقة تتراوح بين ٧,٥ إلى ٢٦ ميغا إلكترون فولت. وفي التجربة الثانية قامت جامعتا إيرفين وميشجان بالاشتراك مع معمل بروكهاغن القومي، قرب كليفلند بولاية أوهيو، بتشغيل مكشاف مماثل. ولقد رصد هذا المكشاف نبضة نيوترينات في الزمن الصحيح - ثلاث نبضات في مدى ست ثوانٍ، وبمستويات طاقة تتراوح بين ثلاثين ومائة ميغا إلكترون فولت (هذه المستويات من الطاقة تتجاوز بكثير مستويات طاقة النيوترينات الشمسية، والتي لا يمكن رصدها بهذه التجارب). إن تماثل النتائج الواردة من اليابان والولايات المتحدة، بالإضافة إلى حقيقة أن أغلب النيوترينات وصلت في الثانية الأولى للنبضة، قد أقنعت العلماء أنها فعلاً نيوترينات سوبرنوفثا "A" ١٩٨٧. ولقد وضعت كثافة الانفجارات حدوداً دقيقة لكتلة النيوترينو.

إذا كانت كتلة النيوترينات صفراً، فإنها ستنتقل جميعها بسرعة الضوء وستصل كلها معاً حتى بعد رحلة طولها ١٦٠ ألف سنة ضوئية. لكن إذا كان للنيوترينات كتلة - حتى لو لها جميعاً الكتلة نفسها - فإن سرعة تحركها ستتوقف على طاقتها. وكما يحدث تماماً لكرة البيسبول التي تضرب بقوة أكبر حيث تطير أسرع عبر الهواء، فإن النيوترينات التي تمنح قوة الاندفاع الأكبر في انفجار السوبرنوفثا ستنتقل في الفضاء بسرعة أكبر وتصل أولاً. ويصبح هذا التأثير أكثر وضوحاً إذا كانت كتلة النيوترينات أكبر. إن وصول عدة نيوترينات ذات مستويات طاقة مختلفة على التوالي بحيث يفصل بين كل منها ثانية واحدة، بعد رحلة ١٦٠ ألف سنة ضوئية، يبين أن كتلة هذه النيوترينات لا بد أنها أقل من ١٥ إلكترون فولت، وهو أفضل حد وضع حتى الآن. إن ذلك يتعارض بالطبع مع مزاعم السوفييت ولكنه يتفق مع كون كتلة النيوترينات صفراً، أو أن لها كتلة صغيرة، وهو ما لا غنى عنه لكي تكون حيلة (M - S - W) صالحة. لكن على الأقل هناك باحث يعتقد أن

بإمكانه جعل الأمور تتقدم خطوة إلى الأمام، وهو رمانثان كوزيك (Ramanathan Cowsik) من معهد تاتا في بومباي.

ففى لقاء لعلماء الفلك في المجر في يونيو ١٩٨٧، اقترح كوزيك أنه بدلاً من أن تكون هناك نبضة من النيوتريونات قادمة من السوبرنوفا في مدى ١٢ ثانية، فإن هناك نبضتين مثلاً، تفصل بينهما ثوانٍ قليلة. وإذا كان هذا التفسير صحيحاً، فإن ذلك يقضى بأن إحدى هذه النبضات تمثل وصول النيوتريونات الإلكترونية، وأن كتلة هذه النيوتريونات حوالى أربعة إلكترون فولت لكل منها، أما النبضة الثانية فهي إما كلها نيوتريونات ميونية أو أن جميعها نيوتريونات تونية، نسبة إلى التو، وكل نيوترينو في هذه النبضة ستكون كتلته ٢٢ إلكترون فولت. وهو ما قد يسحب البساط تماماً من تحت فرضيات (M - S - W). وطبقاً لكوزيك، هناك احتمال واحد إلى خمسة أن يكون نموذج النيوتريونات الذى شوهد قد ظهر بالصدفة، وألا تكون للنيوتريونات هذه الكتل.

إن ما يسلبه هذا التفسير من الفلك بيد ("حل" لمشكلة النيوترينو الشمسى)، يعطيه باليد الأخرى. فإذا كانت كتلة مجموعة من النيوتريونات، تضم نيوترينو من كل نوع، تزيد على ١,٤ إلكترون فولت، فإن مجموع كتلة كل النيوتريونات فى الكون ستزيد على كتلة كل النجوم المضيئة فى كل المجرات مجتمعة معاً. وقد يرحب بعض علماء الفلك بذلك، لأن هناك الآن وزناً ساحقاً من الأدلة على أن النجوم المضيئة والمجرات تشكل أقل من ١٠٪ من كل المادة فى الكون، وأن الأمر يحتاج إلى شكل ما من "المادة المعتمدة" لى تتماسك الأشياء معاً من منطلق قوة الجاذبية.

إن الكون يتمدد حالياً، وبمرور الوقت تتحرك المجرات بعيداً عن بعضها البعض. وأحد الأسئلة الكبرى فى علم الكونيات (*) (Cosmology) فى الوقت الراهن هو: هل سيستمر التمدد إلى الأبد، أم سينقلب ذات يوم ويصبح انكماشاً، عندما تتغلب قوة جاذبية كل المادة فى الكون على قوة التمدد؟ هناك ما يكفى تقريباً من المادة (المرئية المضيئة للقيام بالعمل، لكن الكتلة المشتركة لأنواع النيوتريونات الثلاثة والتي تُقدر بخمسة وعشرين إلكترون فولت قد تقضى بالغرض. وببساطة، يوجد عدد كبير جداً من النيوتريونات حولنا بحيث إنه حتى لو كانت كتلة كل منها صغيرة جداً، فإن مجموعها قد يزيد على كتلة النجوم والمجرات مجتمعة.

(*) كوزمولوجيا: علم الكونيات: علم يبحث فى أصل الكون وبنيته العامة وعناصره ونواميسه.

وبالتالى، فإن لدراسة أحداث محلية فى فنائنا الكونى - مشكلة النيوترينو الشمسى - تأثيراً رئيساً على فهمنا لمسائل كونية عميقة مثل المصير النهائى للكون. لقد أصبح الاهتمام بحل مشكلة النيوترينو الشمسى أكثر من أى وقت مضى. والآن ونحن نتقدم فى التسعينيات من القرن العشرين؛ هناك إمكانية إنتاج جيل جديد من المكشاف لدراسة النيوترينات الشمسية العديدة التى لم يمكن دراستها بواسطة مكشاف دافيز الذى قدم عملاً من الطراز الأول طوال عقدين.

مشاريع مستقبلية

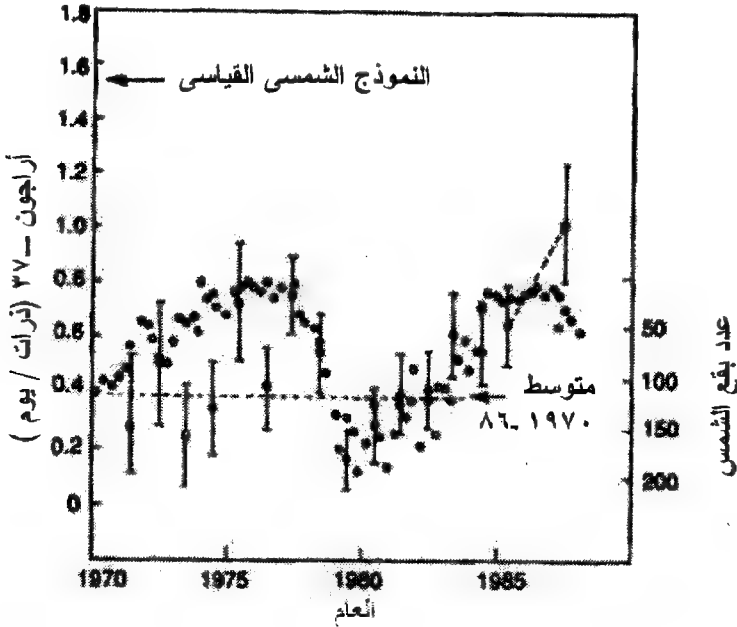
إن الدراسة الفلكية للنيوترينو الشمسى تحتاج حالياً إلى تجربة جديدة - بل إلى عدة تجارب جديدة. لا يوجد سوى مجموعة أساسية واحدة من البيانات، مستمدة من تجربة واحدة فقط، وهى تقول لنا فقط إن هناك نيوترينات تصل إلى كوكب الأرض. إن مكشاف كاميوكوند أكد فقط أن تجربة دافيز تعمل بشكل سليم، لكنه لم يضيف معلومات جديدة. وبشكل دقيق، طالما أن مكشاف دافيز لا يستطيع أن يخبرنا بالاتجاه الذى تأتى منه النيوترينات، فإننا لا نعلم ما إذا كان يرصد بالفعل نيوترينات شمسية، وإن كان من الصعب التشكك فى ذلك نظراً لعدم وجود مصدر كونى آخر فى النطاق. لاتزال هناك طرق لجمع المزيد من المعلومات بواسطة هذه التجربة. على سبيل المثال، لقد بدا أن هذه التجربة تلمح إلى أن عدد النيوترينات المسجل فى الصهريج يتوقف على نشاط الشمس، ويتغير هذا العدد على امتداد الأحد عشر عاماً التى هى مدة "دورة بقع الشمس". ويمثل ذلك نتيجة غير متوقعة على الإطلاق، ويصعب تفسيرها، نظراً للاعتقاد بأن النيوترينات تأتى من قلب الشمس، فى حين أن بقع الشمس ظاهرة سطحية.

وسأعرض لمزيد من التفاصيل عن طبيعة بَقَع الشمس (كَلَف الشمس) فى الفصل السادس. لكن ما يهم هنا هو أن هذه البقع الغامضة تأتى وتذهب فوق سطح الشمس فى دورة تمتد حوالى أحد عشر عاماً تقريباً. إن افتراض رصد مزيد من النيوترينات الشمسية على كوكب الأرض عندما يكون هناك مزيد من بقع الشمس، لا يُعتبر فكرة مجنونة "تماماً"؛ لأن البقع مرتبطة بزيادة النشاط المغناطيسى فى الشمس، وكما سبق أن أشرت فإن تغير النشاط المغناطيسى قد يؤثر على تذبذبات نوع النيوترينو. ومن ناحية أخرى، إذا كان الأمر كذلك، فإن حالات التفجر العارضة للشمس والتى تُسمى

انفجارات مضيئة وترتبط كذلك بالنشاط المغناطيسى، قد تُزيد أيضاً عدد النيوتريونات القابلة للرصد. لكن بحثاً قام به فريق بحث كاميوكند وغطى الفترة من يوليو ١٩٨٣ إلى يوليو ١٩٨٨ أثبت عدم وجود إشارات نيوترينو ذات دلالة فى فترة الانفجارات الشمسية. وهناك احتمال آخر، هو أن تكون الأشعة الكونية الشمسية، وهى جسيمات ذات طاقة تنتجها الشمس، بإمكانها أن تنتج نيوتريونات بتأثير التفاعلات التى تحدث فى الغلاف الجوى للأرض. غير أن چون باكول يعتقد أن الارتباط الظاهرى بين بقع الشمس والنيوتريونات الشمسية (شكل ٤ - ٥) مجرد صدفة. ويقول إن الاختبارات الإحصائية بينت إمكان حدوث مثل هذا الارتباط القوى بالصدفة البحتة فى ٢٪ من الحالات، حيث يتم وضع مجموعات عشوائية من البيانات بجانب بعضها البعض. وأشار إلى أن احتمال حدوث العديد من الأمور المهمة فى حياتنا، مثل سلسلة الأحداث التى تقود إلى أول لقاء لنا مع رفيق حياتنا يمثل أقل من ٢٪. إن مثل هذه الأحداث النادرة تحدث بالطبع! ومن ناحية أخرى، يعتقد راي دافيز أن الارتباط حقيقى. وقد كرر باكول ودافيز رهان بولى الشهير وإن كان هذه المرة أكثر تواضعاً، حيث وعدا بزجاجة شمپانيا لصاحب التجارب التى تثبت هذا التطابق أو الصدفة.

وقد أجريت هذه التجارب بالفعل فى الوقت الراهن، فلقد ارتفع نشاط الشمس إلى ذروة فى أواخر عام ١٩٨٩، أى وأنا أكتب هذا الفصل، وسوف ينخفض هذا النشاط مرة أخرى بعد عام ١٩٩٢ تقريباً. ومن المفترض أن تعطى عمليات الرصد حتى حوالى عام ١٩٩٥ الاختبار النهائى لهذا الارتباط الغريب. وهو ما يمثل سبباً كافياً لاستمرار تشغيل مكشاف دافيز. لكن يصعب توقع أى تقدم مفاجئ يأتى بجديد من هذا المكشاف.

لقد اقترح بعض الباحثين البحث فى السجلات أو القيام بعمليات رصد جديدة لاكتشاف ما إذا كانت أعداد النيوتريونات التى تصل خلال النهار، عندما تكون الشمس فى كبد السماء أكبر منها أثناء الليل. ومرة أخرى، يجب ألا يكون لذلك أى تأثير - "فمن المفترض" أن تمر النيوتريونات عبر كوكب الأرض الصلب وكأنه غير موجود. ولكن إذا كانت النيوتريونات الشمسية لا تتوافق لسبب ما، مع التوقعات، فقد يكون من الأجدى اختبار صحة ما "يعرفه الجميع" عن قدرتها على المرور عبر كوكب الأرض. وقد تفترض بعض التغيرات فى فكرة (M. S. W) أن تحدث ذبذبات فى الواقع، داخل كوكب الأرض، ولا بد أن ينجم عنها تأثير يومية قابل للقياس. غير أن مثل هذه الاختبارات تتجاوز حدود «تلسكوب» منجم الذهب.



شكل (٥ - ٤): مع بيانات ما يقرب من عشرين عاماً الخاصة بالنيوتريو الشمسي (النقط الفامقة) يبدو الأمر وكأن هناك ارتباطاً مع عدد بقع الشمس (الدوائر المفتوحة). ولا بد أن تدلنا المشاهدات خلال السنوات القليلة القادمة ما إذا كان هذا التأثير حقيقياً أم لا.

على أية حال، لا يوجد نقص في الأنواع الجديدة المقترحة من تلسكوبات النيوتريو. كانت المكشافات التي تستخدم تكنولوجيا تُعتبر في عقد الستينيات إما مكلفة جداً، أو من الصعوبة بمكان مجرد التفكير فيها. ولو كان دافيز قد كشف عن عدد النيوتريونات المتوقع بالكامل، لاعتبر أغلب هذه الأفكار مكلفاً جداً ولقد اهتمام بها. غير أن الأغاز التي أظهرتها مشاهداته طوال عشرين عاماً جعلت من المُجْدَى الآن - بل من الضروري قياس مستوى طاقة النيوتريونات، والاتجاهات التي تأتي منها وأنواع النيوتريونات ذاتها. وإنني أعرف على الأقل اثني عشر نوعاً مختلفاً من التجارب المطروحة حالياً لقياس بعض الصفات الخاصة بالنيوتريونات الشمسية. ويمكن تطبيق كل واحدة من هذه التقنيات الاثنتي عشرة بعدة طرق مختلفة. وسأذكر منها فقط تلك التي تعدُّ بفرصة واقعية للتطبيق خلال السنوات القليلة القادمة.

إن الخطوة المنطقية التالية هي بناء مكشاف يستجيب للنيوتريونات ذات الطاقة المنخفضة التي يتم إنتاجها بكميات كبيرة بواسطة تفاعل البروتون - بروتون (P-P). ومن الأفكار التي تنصدر هذا السباق، تجربة تستخدم الجاليوم لالتقاط النيوتريونات. إن التجربة بسيطة مبدئياً، وتوقف على حقيقة أنه عندما يتفاعل نيوتريو إلكتروني مع

نواة الجاليوم - ٧١ فإنها تتحول إلى نواة جرمانيوم - ٧١ وينبعث من التفاعل إلكترون واحد. ودون الدخول في تفاصيل، فإن علماء الكيمياء سعداء لأن بإمكانهم إحصاء عدد ذرات الجرمانيوم الناتجة، باستخدام تقنيات مشابهة من حيث الفكرة لتلك التي استخدمها دافيز لإحصاء ذرات الأراجون. إن الميزة الكبيرة للجاليوم - ٧١ أنه يتفاعل مع نيوتريونات البروتون - بروتون ($p-p$)، لكن العقبة المباشرة لمكشاف الجاليوم هي تكلفته العالية، إضافة إلى مشكلة ثانوية وهي أن التجربة ستعطي إجابة ملتبسة لأسئلتنا عن النيوتريونات الشمسية.

إن الجاليوم فلز ذو نقطة انصهار منخفضة جداً. إذا أمسكت بكتلة منه في يدك فإنه ينصهر إلى بركة لامعة تبدو كبركة صغيرة من الزئبق. كما إنه فلز قيم جداً يستخدم في الصناعة الإلكترونية لإنتاج صمامات ثنائية مشعة للضوء، ذلك النور الأحمر الصغير المؤلف في الآلات الحاسبة والمكونات الأخرى للمعدات الإلكترونية. وبينما جرى طبع هذا الكتاب، قد يصبح زرنخيد الجاليوم من أشباه الموصلات الشائعة الاستخدام، بحيث يعطى جيلاً من المعدات الإلكترونية أسرع من الموجودة حالياً. كل ذلك يجعل الجاليوم نافعاً ومطلوباً في الصناعة الحديثة، غير أنه نادر أيضاً، حيث يقل إنتاجه سنوياً عن مائة طن، فيما يحتاج مكشاف جيد للنيوترينو الشمسي إلى ثلاثين طناً على الأقل، وربما ستين طناً، له وحده. إن تكلفة الجاليوم بالنسبة للمكشاف ستتراوح بين خمسة ملايين وعشرة "ملايين" دولار، بالأسعار الحالية - غير أن العلماء سرعان ما لفتوا الانتباه إلى إمكانية بيعه للاستخدام في الصناعات الإلكترونية بعد الانتهاء منه!

ومع ذلك، فإن فريقاً من الباحثين السوفيت يخطط بالتعاون مع فريق من الباحثين الأوروبيين لتنفيذ مثل هذه المشروعات، يحدوهم الأمل أن تجربة الجاليوم برصدها نيوتريونات البروتون - بروتون ($p-p$) تكون حلت لغز لماذا رصد دافيز ثلث عدد النيوتريونات المتوقعة فقط. وطبقاً للنموذج القياسي، فإن مثل هذا المكشاف يجب أن "يرى" حوالي ١٢٠ وحدة نيوترينو شمسي (SNU)، ٧٠٪ من هذه النيوتريونات قادمة من عملية بروتون - بروتون ($p-p$) وأغلب الـ ٣٠٪ المتبقية من تفاعل البريليوم - ٧. وإذا وجد المكشاف الجديد ثلث عدد النيوتريونات المتوقعة، فإن ذلك يوحى طبعاً بأن النيوتريونات تتذبذب بين ثلاثة أنواع وهي في طريقها من الشمس إلى الأرض، ما دامت عملية

البروتون - بروتون (p p) ليست شديدة الحساسية لدرجة الحرارة في قلب الشمس. أما إذا كانت نيوتريونات البروتون - بروتون موجودة بالكميات المتوقعة تقريباً، فإنه يمكن تفسير ذلك بإحدى طريقتين. فقد يعنى ذلك أن هناك مشكلات مع الفيزياء الفلكية التي تؤثر فقط على نيوتريونات دافيز (مثل أن تكون درجة حرارة قلب الشمس أقل بنسبة ١٠٪ عن النموذج القياسى). وهو ما قد يؤثر على نيوتريونات البورون - ٨، وليس على نيوتريونات البروتون - بروتون (p-p). أو أن يترك ذلك مجالاً لافتراض (M-S-W) القائل بوجود خليط من أنواع النيوترينو المختلفة "داخل" الشمس، طالما أن هذه العملية ذاتها لا تعمل إلا بالنسبة للنيوتريونات ذات الطاقة العالية.

وهناك طرح آخر يتضمن استخدام فلز الإنديوم بدلاً من الجاليوم لرصد النيوتريونات الشمسية. ويخطط نورمان بووث (Norman Booth)، الباحث بجامعة أكسفورد، لتجربة تستخدم طناً من الإنديوم - ١١٥، الذى يجب أن يلتقط نيوتريناً شمسياً واحداً كل ثلاثة أيام أو أربعة أيام. وعندما يحدث ذلك، تتحول نواة الإنديوم - ١١٥ إلى نواة قصدير - ١١٥ ويتحرر إلكترون. ولأن القصدير يتولد بطاقة زائدة - أى فى حالة استثارة - فإنه يرتد على الفور إلى أكثر حالاته استقراراً، ويشع زوجاً من الفوتونات (أشعة جاما) التى يمكن رصدها بسهولة نسبياً. وتتميز هذه التقنية بأن ومضات أشعة جاما، المعلنه عن وصول النيوتريونات، سيتم رصدها لحظياً، فى "الوقت الحقيقى"، بمجرد وصول النيوتريونات، بدلاً من أن يضطر العلماء إلى الانتظار لأيام أو أسابيع قبل القيام بما يكافئ غسل الصهريج وتفريغه وإحصاء عدد النيوتريونات التى وصلت على امتداد فترة زمنية طويلة. ولكن يعيب هذه التقنية أن الإنديوم - ١١٥ عنصر مشع طبيعياً، وسينبعث من طن واحد منه مائتا ألف إلكترون كل ثانية. غير أن بووث يعتقد أن بإمكانه التحايل على مشكلة هذه "الخلفية" الضخمة من الإلكترونات التى تهدد بإغراق مكشافة.

ومن ناحية أخرى، تقدم مجموعة أطروحات حلولاً تعتمد على حقيقة أن النيوتريونات تستطيع ببساطة ضرب الإلكترونات - بعثرتها كما يقال - وبذلك تزودها بالطاقة. إن مثل هذا الحدث نادر، لكن إذا كان لدينا عدد كافٍ من الإلكترونات فى مكشاف، وعدد كافٍ من النيوتريونات تمر خلاله، فمن المؤكد أن يحدث ذلك فى بعض الأحيان. لو قمت ببناء صهريج كبير يحتوى على القدر الكافى من أى شئ، طالما أن كل الذرات تحتوى

على إلكترونات، فإن بعض النيوتريونات الشمسية التى تمر خلاله ستزود بعض الإلكترونات الموجودة فى الصهريج بالطاقة. "كل" ما عليك عمله هو التقاط الإلكترونات التى تتحرك بسرعة واستنتاج مكان حدوث التصادم - إنه عمل ليس بالسهل إطلاقاً، ولكنه عمل روتينى بالنسبة لعلماء الفيزياء العاملين فى مجال الجسيمات الأساسية.

إن المكشافات التى "وجدت" النيوتريونات القادمة من سوبرنوفاً «أيه» ١٩٨٧ تعمل بهذه الطريقة، لكنها لم تتمكن بعد من رصد النيوتريونات ذات الطاقة المنخفضة مثل تلك القادمة من الشمس. وتتميز هذه التقنية بأنها تعمل بشكل لحظى فى الزمن الحقيقى، وتسجل النيوتريونات عند وصولها، كما يمكنها مبدئياً استنتاج طاقة النيوتريونات القادمة واتجاهها. لكن يعيبها كمية المادة الضخمة التى تحتاجها. ومن بين الأفكار المطروحة للقيام بهذا العمل، وضع صهريج به ٦٦٠٠ طن من الأراجون السائل فى نفق جران ساسو تحت جبال الألب. وقد سُميت هذه التجربة Icarus (وهو اختصار مُلتوٍ لعملية تمثيل الإشارات الكونية والإشارات التحت أرضية النادرة). وقد تستطيع قياس مستويات الإلكترونات، وتستدل بذلك على مستويات طاقة النيوتريونات القادمة.

إن هذا الطرح جدير بالذكر لأن أحد علماء الفيزياء المشاركين فيه هو چون باكول، المرجع العالمى لنظرية تفاعلات النيوترينو الشمسى. وطبقاً لحساباته، يتعين على المكشاف أن "يعثر" على ٤٧٠٠ نيوترينو شمسى فى العام. ويدعى باكول أن هذا المكشاف قد يكون قادراً على تأكيد (أو دحض) دقة النموذج الشمسى القياسى خلال يوم واحد من التشغيل.

إن الحجة بسيطة بشكل يسد الطريق على أى اعتراض. وطبقاً للنظرية القياسية، فإن مستويات طاقة الإلكترونات التى يتم رصدها فى مكشاف إيكاروس (التي اكتسبتها من النيوتريونات الشمسية) يجب أن تكون موزعة بالتساوى حول قمة تُقدر بخمسة ميغا إلكترون فولت، مع عدد التفاعلات نفسه عند ثلاثة ميغا إلكترون فولت، مثلاً، وعند سبعة ميغا إلكترون فولت. إلا أن أى نوع من ذبذبات النيوتريونات سيغير توزيع مستويات الطاقة، إلى أعلى أو إلى أسفل تبعاً للنظرية التى تفضلها. وإذا وجدت إيكاروس عدداً قليلاً جداً من الإلكترونات على جانب واحد من القمة (لا يهم أية ناحية)، فإن ذلك سيُعد إشارة أكيدة على أن الذبذبات قائمة وفى حالة عمل، وهو ما يعنى ضمناً أن النموذج القياسى للشمس صحيح، وأن النيوتريونات نفسها هى التى تقوم بهذه الحيلة.

لا تزال هناك طرق أخرى لرصد وصول النيوتريونات الشمسية في المعمل. فإن بلاس كابريرا (Blas Cabrera) الباحث بجامعة ستانفورد يستخدم ما يُعرف بمكشاف لقياس الطاقة الإشعاعية الحرارية. وتعتمد هذه التجربة على أبسط المفاهيم على الإطلاق، وهو أن النيوتريينو عندما يتفاعل مع نواة ذرة ما يُنتج إلكترونًا ذا طاقة كبيرة. وبدلاً من محاولة رصد الإلكترون نفسه، فإن كابريرا خطط لقياس الطاقة بشكل غير مباشر، عن طريق ارتفاع درجة حرارة المكشاف الناجم عن ذلك. وتلك التجربة ممكنة عملياً، شريطة أن يكون المكشاف عند بداية التجربة بارداً وأن تكون ذراته مرتبة في بلورة صلبة. ففي هذه الحالة، عندما ينطلق الإلكترون المنبعث من إحدى الأنوية فإنه يصطدم بالذرات الأخرى المجاورة، ويحركها فيذبذبة صغيرة. إن اهتزاز تلك الذرات يكافئ ارتفاعاً في درجة الحرارة - تتحرك الذرات الباردة حركة ضعيفة على نقيض الذرات الساخنة فتكون حركتها وافرة. وبالتالي، إذا بدأت ببلورة من السليكون شديدة البرودة، وتعرضت هذه البلورة لاصطدام نيوتريينو بها بحيث تمتص طاقته، فمن المتوقع أن يحدث ارتفاع طفيف في درجة حرارة بلورة السليكون. وتكمن الحيلة هنا في قياس هذا الارتفاع الطفيف في درجة الحرارة - ويتعين عليك بالطبع أن تقوم بتشغيل كل شيء عند درجات حرارة قريبة من الصفر المطلق، حيث يكون الهليوم سائلاً.

ويتضمن تناول كابريرا التدريجي للمشكلة خُططاً لبناء نموذج مكشاف يستخدم كيلوجراماً واحداً من السليكون، في البداية، ودراسة طريقة رد فعله عند قصفه بجسيمات ذات طاقة عالية وأشعة إكس. ويأمل بعد ذلك في بناء مكشاف أكبر قد يحتوى مائة كيلوجرام من السليكون، ويضعه بجانب مفاعل نووى ليرى رد فعله على النيوتريونات وعندئذ فقط يصبح مستعداً لاستكمال تجربة كاملة الحجم للنيوتريينو الشمسى، باستخدام عشرة أطنان من السليكون.

إن هذا الجدول الزمني يعطيكم فكرة عن طول الفترة المتوقع انتظارها قبل الوصول إلى بيانات نهائية جديدة عن النيوتريونات الشمسية. إن مكشاف الجاليوم أو تجربة إيكاروس أو مكشاف كابريرا لقياس الطاقة الإشعاعية الحرارية يفترض أنه أصبح جاهزاً للعمل مع بداية التسعينيات من القرن العشرين، مع توافر التمويل. وهناك أفكار أكثر غرابة قد يمكنها أن تثبت التوزيع الكلى للنيوتريونات الشمسية عند مستويات الطاقة المختلفة (طيفها)، لكنها لازالت غير قابلة للتنفيذ ولا يتوقع تطبيقها إلا في القرن الواحد والعشرين. وبالرغم من ادعاءات العلماء المقتنعين بتجربة إيكاروس

المتفائلة، فإننى أشك بشكل ما فى أن يوماً واحداً من التشغيل يكفى لحل اللغز. ففى عام ١٩٦٦، كان العديد من علماء الفيزياء (ربما كان باقول منهم) يمكنهم الزعم أن شهراً واحداً من المشاهدة والرصد بواسطة مكشاف دافيز يكفى لتأكيد دقة النموذج القياسى للشمس!

وبعد عقدين من الحيرة والارتباك حول نتائج مكشاف دافيز، قد يكون احتمال الانتظار لخمسة أو عشرة أعوام أخرى للوصول لرؤية واضحة للغز النيوتريونات الشمسية أمراً غير بعيد. وعند التخطيط لمثل هذه المشروعات طويلة الأجل الباهظة التكلفة، فإن من واجب المنظرين أن يحاولوا التنبؤ بما ستفضى إليه وتكشف عنه هذه التجارب، وأن يقدموا أفضل ما يمكنهم فى سبيل ذلك. فلقد أدت تجربة دافيز نفسها إلى تركيز أذهان علماء الفيزياء الفلكية فى الستينيات على تحسين وتنقيح حساباتهم الخاصة بالنموذج القياسى، ومن ثم فإن الخطط الخاصة بجيل جديد من المكشافات تهب بهؤلاء العلماء أن يقدموا تنبؤات وتوقعات قابلة للاختبار لما يمكن أن تكتشفه أو تجده هذه المكشافات. وهناك تحدٍّ آخر أمام المنظرين، وهو استخدام ذكائهم ونبوغهم للوصول إلى حل مُرضٍ لمشكلة النيوتريينو الشمسى لا يتطلب إنفاق سنوات من الجهد وملايين الدولارات فى بناء مكشافات ووضعها فى حفر عميقة فى الأرض، ولكن حلاً يربط بين ما يحدث داخل الشمس والنجوم الأخرى وما يحدث فى الكون ككل (ليس مثل حلول حفلات الكوكبيل).

ويمكن للفلك الرصدى تقديم المساعدة أيضاً. ففى الثمانينيات من القرن العشرين، عندما كان علماء الفيزياء يتصارعون مع تصميمات مكشافات النيوتريينو، وحققوا تقدماً تكنولوجياً نحو جيل جديد من التجارب، لم يكن علماء الفيزياء الفلكية والفلك كسالى أو متعطلين. فقد حسّنوا هم أيضاً أدواتهم وتقنياتهم، وكسبوا رؤية جديدة لطبيعة الشمس وسلكوا طرقاً جديدة لسبر أسرار قلب الشمس. ورغم كل شئ، تفترض هذه الرؤى الجديدة أن بعض مناقشات حفلات الكوكبيل المتعلقة بلغز النيوتريينو الشمسى قد لا تكون مجنونة لهذه الدرجة.

ولكى نرى كيف يكون ذلك، تتعين العودة إلى عام ١٩٧٧، لنمسك بخيوط ما بدا فى ذلك الوقت فكرة غريبة أخرى عما يدور فى قلب الشمس، وذلك عندما كان عمر مشكلة النيوتريينو الشمسى آنذاك أقل من عشر سنوات، وكانت حلول حفلات الكوكبيل لا تتعدى الاثنى عشر.

الفصل الخامس

فكرة غريبة أخرى

جون فولكنر (John Foulkner) عالم فيزياء فلكية بريطاني المُولد، يعيش حالياً في كاليفورنيا، حيث يعمل في كلية سانتاكروز التابعة لجامعة كاليفورنيا وفي مرصد ليك. وهو خبير مشهور في فيزياء الأجزاء الداخلية من النجوم، أى قلبها، وكان قد اكتسب شهرته العلمية في الستينيات من خلال أبحاثه عن طريقة تطور النجوم عندما تحتوى مصدرين للطاقة النووية، حيث يحترق الهليوم في قلب هذه النجوم متحولاً إلى كربون، بينما تستمر طبقة من الهيدروجين خارج القلب في الاحتراق وتتحول إلى هليوم. ولقد فسرت هذه الحسابات ظهور ما يُعرف بنجوم «الفرع الأفقى» (*). ووضعت بذلك القطعة الرئيسية الأخيرة من لغز تطور النجوم في مكانها المناسب. وعندما بدأ الباحثون في النصف الأخير من السبعينيات يهتمون بإمكانية وجود أنواع «جديدة» من الجسيمات في الكون، وبأن وجود مثل هذه الجسيمات يمكن أن يؤثر على طريقة تطور النجوم، كان من الطبيعي أن يُعنى فولكنر بتلك التخمينات. غير أن أحداً لم يكن يتصور في البداية، أن تكون التخمينات وثيقة الصلة بقصة النيوتريونات الشمسية.

(*) يأتي هذا الاسم من موضع هذه النجوم في رسم تخطيطي يربط درجة سطوع النجم بلونه، ويُسمى: رسم تخطيطي H - R، نسبة إلى عالمي الفلك اللذين وضعوا هذه الطريقة في التصنيف وهما: Hertzsprung. Russel. تقع نجوم مثل الشمس، التي تحرق الهيدروجين في قلبها، في نطاق على الرسم التخطيطي يُعرف بالسلسلة الرئيسية. في حين تحتل النجوم العملاقة الحمراء والنجوم القزمة البيضاء مناطق خاصة بها من الرسم التخطيطي.

فى ذلك الوقت، بدأ العديد من علماء الفلك يتعاملون بجدية مع الفكرة القائلة بأن فى الكون قدراً من المادة أكبر بكثير مما يمكننا رؤيته. لقد كانت النجوم المضيئة والمجرات المحتوية على مليارات النجوم المضيئة هى بؤرة الاهتمام الرئيس لعلم الفلك على امتداد السنوات، وذلك لأن الأشياء المضيئة فقط هى التى يمكن دراستها مباشرة، عن طريق الضوء الذى يصل إلى تلسكوباتنا. ولكن منذ اثلاثينيات بدأ العديد من علماء الفلك يتشككون فى أن الكون لا بد أن يحتوى على أكثر بكثير مما تراه العين، وكانت قلة من العلماء، تؤمن بذلك إيماناً عميقاً. وتفترض الدراسات الخاصة بطريقة تحرك النجوم فى مجرة مثل مجرتنا، وتلك الخاصة بطريقة تحرك مجرات فى مجموعات (تسمى جماعات المجرات) أن قوى جاذبية أقوى من قوة الجاذبية المشتركة لكل النجوم المضيئة المرئية مجتمعة تشد هذه المجرات والنجوم. ومن ثم يتعين أن تكون هناك مادة معتمة فى الكون مثلما توجد مادة مضيئة. ولكن ما المادة المعتمة، وأين تجمعت واحتشدت؟

يُشار إلى المادة المعتمة أحياناً على أنها «الكتلة المفقودة» - وهو اسم لم يعد مستحباً بعد أن أقنع علماء الفلك أنفسهم خلال عقد الثمانينيات من القرن العشرين بأن المادة موجودة بالفعل وأن «المفقود» هو الضوء. فى البداية، كان الافتراض الطبيعى أن تكون تلك المادة المعتمة فى شكل نجوم باهتة جداً، أو سحب من الغازات لم تتكثف لتشكّل نجومًا، أو حتى أشياء شبيهة بالكواكب، أعداد ضخمة من «المُشتري» منتشرة عبر المجرة. لكن فى عقد السبعينيات أدت تطورات جديدة فى فيزياء الجسيمات إلى افتراض جديد جَسُور، يتلخص فى أن بعض، أو كل، «المادة المفقودة» لا بد أن يُعثر عليها فى شكل جسيمات لم يسبق رصدّها قط فى أى معمل على الأرض، جسيمات تخلفت من الانفجار العظيم الذى ولد منه الكون.

رابطة الجسيم

فى البداية، لم يكن لدى علماء فيزياء الجسيمات أدنى فكرة باحتمال أن يكون لنظرياتهم الجديدة نتائج كونية غير مباشرة. لقد تركّز اهتمامهم فى تطوير مجموعة موحدة من المعادلات يمكنها أن تصف سلوك قُوَى الطبيعة الأربع (الجاذبية، التفاعلات النووية القوية والضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية) فى مجموعة موحدة واحدة. وفى البداية، توج النجاح الخطوة الأولى الضخمة على الدرب الموصل إلى هذه النظرية،

«نظرية كل شيء» (TOE)، وذلك بتجميع الكهرومغناطيسية والتفاعل النووى الضعيف فى حزمة واحدة، تُسمى نظرية الكهرياء الضعيفة. لكن بعض صور هذه النظرية تتطلب وجود نوع جديد من الجسيمات فى الكون - جسيم كتلته أكبر من البروتون. إن هذا الجسيم الخاص الذى تم تصوره فى حسابات من هذا القبيل أُجريت عام ١٩٧٧، هو عبارة عن نوع من النيوتريـنو الثقيل. لكن هذا الطرح أهمل مع تقدم النظريات وتحسُّنها، وحل محله مرشحان آخران لجسيمات المادة المعتمدة، إلا أن هذا الطرح قدم قوة دافعة جعلت بعض علماء الفيزياء الفلكية يفكرون طبقاً لخطوط جديدة. إن هذا الجسيم لا يمكن قط إنتاجه فى مسارعات على الأرض مثل تلك الموجودة فى CERN بجنيف أو فى معمل Fermi بشيكاغو. إن الطاقة (E) المطلوبة لإنتاج جسيمات كتلتها (m) أكبر عدة مرات من كتلة البروتون، وتطبق عليها معادلة آينشتاين: الطاقة = مربع الكتلة × سرعة الضوء، هى ببساطة طاقة غير متاحة. لكن علماء الفلك لديهم أدلة(*) قوية على أن الكون ذاته ولد منذ حوالى ١٥ مليار عام من حالة فرط احتراق وفرط كثافة، هى الانفجار العظيم. إن الطاقة المتاحة فى الانفجار العظيم كانت وفيرة بحيث يمكنها تكوين أعداد كبيرة من هذه الجسيمات المفترضة - فى الحقيقة، إن طاقة من الانفجار العظيم هى التى تحولت إلى كتلة طبقاً لمعادلة آينشتاين وتم احتجراها فى شكل البروتونات والنيوترونات والإلكترونات الموجودة حالياً فى جميع النجوم والكواكب وفى أجسادنا ذاتها. وإذا كان من الممكن أن يترك الانفجار العظيم خلفه بروتونات نيوترونات، فبالإمكان أيضاً أن يحدث ذلك مع تلك الجسيمات الثقيلة الأخرى. ولو انت هناك أعداد كافية من هذه الجسيمات، فإن تأثير الجاذبية الخاص بها يمكن أن يُضاف لتفسير طريقة حركة النجوم والمجرات، بل قد يساعد أيضاً فى تفسير كيف تكونت المجرات فى أول الأمر، من سحب غاز منهار. لكن ما تأثير وجود مثل هذه الجسيمات على سلوك النجوم ذاتها؟

لقد تعلق اهتمام فولكنر بالمشكلة أثناء زيارة قام بها للمرصد القومى للفلك اللاسلكى بالولايات المتحدة وذلك فى عام ١٩٧٧، حيث التقى علماء فلك آخرين مهتمين بالسـمات المختلفة للتداعيات الكونية لوجود جسيمات ثقيلة فى الكون لم يتم إدراكها من قبل. وقام ثلاثة من هؤلاء الباحثين، هم: جارى شتيجمان وكريج سرازين وهـ. كينتانا، بتوحيد جهودهم مع فولكنر لدراسة كيف يمكن أن يؤثر وجود هذه الجسيمات على

(*) راجع المؤلف المسمى «بحثاً عن الانفجار العظيم» لنفس الكاتب، الدورية الفلكية، المجلد ٨٣، ص ١٠٥٠.

تطور الكون بشكل عام وعلى تكوين المجرات وسلوكها بعد تكونها وسلوك النجوم. وانتهاوا إلى أن الجسيمات التي تتراوح كتلتها بين ضعف كتلة البروتون وعشرين ضعف هذه الكتلة يمكن أن تمثل «مكوناً مهماً بشكل فعال لكثافة كتلة الكون»، وأن هذه الجسيمات «يمكن أن تكون لها كل الصفات المطلوبة لتكوين «الكتلة المفقودة» في جماعات المجرات وفي الهالات المجرية».

غير أن تأثير هذه الجسيمات الثقيلة يبدو ضعيفاً على النجوم، بما أنه ثبت في النهاية أن عدداً قليلاً من هذه الجسيمات قد ينهار مع الهيدروجين والهيليوم في السحب التي تكونت منها النجوم - إن جسيمات المادة المعتمة تظل منتشرة على امتداد منطقة كروية واسعة تحيط بمجرة مثل مجرتنا («الهالات» التي أشار إليها الفريق). ومعنى ذلك أن المادة المعتمة، أياً ما كانت، منتشرة وليست متركزة داخل النجوم المرئية. لكن فولكنر أصبح متحيراً من إمكانية أن يكون القليل من هذه الجسيمات قد تجمع داخل قلب الشمس وغير من تركيبه بما يكفى ليكون مسئولاً عن نقص عدد النيوتريونات الذي سجلته تجربة دافيز. على أية حال، لا يحتاج حل مشكلة النيوتريينو إلا إلى تعديل درجة الحرارة التي حددها النموذج القياسي للشمس بنسبة ١٠٪.

وعند عودة فولكنر إلى سانتاكروز، جند الباحث رون چيليلند (Ron Gilliland) للقيام بالحسابات. وكان واثقاً من فكرته، ونجحت الحيلة. فإن إضافة جسيمات ثقيلة إلى قلب الشمس «يمكن» أن تبرده بدرجة تكفى لتقليل تدفق النيوتريونات بحيث يطابق القياسات التي قام بها دافيز. لكن زملاء فولكنر لم يتحمسوا لفكرة أن ينطوى بحثهم المشترك على حل لمشكلة النيوتريينو الشمسى من نوع حلول حفلات الكوكبيل. وسمحوا له، على مضض، أن يسجل ملخصاً مختصراً لبحثه مع چيليلند فى نهاية الجزء (ج) من القسم الخامس من البحث، قبل الخاتمة مباشرة. وتنتهى الجملة الأخيرة من البحث بـ «أنه يمكن حل مشكلة النيوتريينو الشمسى بدون التأثير بشكل جدى على السمات الأخرى لتطور النجوم». لكن لم يكن أحد يعتقد حينذاك - ولا حتى فولكنر نفسه - أن هذه الجملة كانت أهم سمة فى البحث المشترك. وكان فولكنر وچيليلند قد قاما فى عام ١٩٧٨ بكتابة وصف تفصيلى لبحثهما، استعداداً لإعلانه على الملأ فى شكل مقال فى إحدى المجلات العلمية، إلا أن تعرضهما لهجوم من زملائهما يصف المفهوم ككل بالحماقة جعلهما يتخليان عن الفكرة. وسرعان ما دُفنت مُسودة المقال تحت أكوام من

اوراق أخرى فى مكتب فولكنر فى سانتاكروز، وتم نسيانها سريعاً. وأصبح شتيجمان مقتنعاً أن حججاً جديدة أعلنت أن وجود النيوتريونات الثقيلة غير وارد ولا مجال للبحث فيه. وبالرغم من أن فولكنر كان يعرض أحياناً فكرته فى لقاءات علمية، فإن رد الفعل غير المتحمس كان يشبط همته فى أن يصر على القضية - ومع ذلك فإنه الآن يتذكر باعتزاز أن موراي چل . مان (Murray gel - Mann) الحاصل على جائزة نوبل، كان من بين القلائل الذين أعجبوا بالفكرة فى بداية الثمانينيات من القرن العشرين.

لكن فى الوقت الذى أخذ فيه زملاء فولكنر حماسه للفكرة، كان المنظرون فى عالم فيزياء الجسيمات، فى بداية الثمانينيات، يسرعون الخطى بإصرار يفوق إصرارهم فيما مضى وصولاً إلى الخلاصة القائلة إن شكلاً ما من الجسيمات «الإضافية» يجب أن يوجد فى الكون، حتى ولو لم تكن هذه الجسيمات نيوتريونات ثقيلة. وفى الوقت نفسه، اكتشف علماء الفلك المزيد من الأدلة على وجود مادة معتمة تمارس عبر الكون تأثيرها الخاص بقوة جاذبيتها. وأصبح الأمر مسألة وقت إلى أن يقوم شخص آخر بتوحيد مجموعتى الأفكار. وكان هذا الشخص هو وليم پرس (William Press)، من مركز هارفارد - سميثسونيان للفيزياء الفلكية، الذى تابع مع زميله ديفيد سبرجل (David Spergel)، فى منتصف الثمانينيات تداعيات تلك الأفكار. ولم يكن پرس ولا سبرجل قد قرأ فى عام ١٩٧٨ البحث الذى لخص فيه فولكنر وجيليلند حساباتهما، ولم يحدث أنهما حضرا أياً من اللقاءات التى حاول فيها فولكنر إثارة الاهتمام فى ذلك الحين بالفكرة التى طرحها من قبل. لكنهما قاما بشكل مستقل، وبداية من الصفر، بتطوير حساباتهما الخاصة عن كيف يمكن لهذه الجسيمات ذات الكتلة الكبيرة، التى أطلقا عليها اسم «كوزميونات»، أن تؤثر على سلوك الكون بشكل عام، وعلى المجرات والنجوم الفردية. كما اكتشفا أيضاً أن وجود مثل هذه الجسيمات داخل الشمس يمكن أن يحل مشكلة النيوتريينو الشمسى.

الكوزميونات هى الويمپات

إن نموذجى العمل متماثلان أساساً، ولقد حان الوقت الآن للنظر إليهما تفصيلاً. إن فريق هارفارد تفادى خطأ وقع فيه فولكنر وزملاؤه، وذلك بمقاومة إغراء وقف نظريتهما على وجود نوع معين واحد من الجسيمات «الجديدة». إذا اعتمدت نظرية على وجود نيوتريونات ذات كتلة كبيرة، فإنها ستبدو ساذجة وسخيفة لو ثبت عدم وجود

هذه النيوتريونات أصلاً، وهو ما أدركه شتيجمان. لكن مع حلول عام ١٩٨٥ كان منظّر الجسيمات يذكرون قدرًا وفيرًا من الجسيمات الجديدة التي تتفق مع مختلف الأفكار عن كيفية توحيد قوى الطبيعة في نظرية كل شيء (TOE). والنقطة الضمنية في كل ذلك هي أن «أياً كانت» النظرية التي ستثبت في النهاية أنها صحيحة، فسيكون هناك مكان لشكل «ما» من أشكال الجسيم ذي الكتلة الإضافية الكبيرة. وبالتالي لا تحدد أى جسيم هو الذى تشير إليه فى حساباتك الفلكية. أعطه فقط اسماً يصلح لأى شيء، مثل كوزميون.

للأسف، كوزميون ليس بالاسم المناسب، لأنه لا يوضح الصلة مع التطورات فى نظرية فيزياء الجسيمات. فى الحقيقة، لقد «حددت» المشاهدات الفلكية نوع الجسيم الذى يتعين أن يوجد هناك للء دور الكتلة المفقودة، وهو ما يخبر منظري فيزياء الجسيمات بما يجب أن يبحثوا عنه فى حساباتهم (لقد حددت دراسات الشمس، كما سنرى، كتلة الجسيم). إن المصطلح الذى يفضلُه أغلب المنظرين حالياً هو كلمة مكونة من أوائل حروف أهم الصفات التى يجب أن يتصف بها أى كوزميون مفترض. يجب أن يكون هذا الجسيم ذا تفاعل ضعيف، بمعنى أنه لا «يشعر» بالقوة النووية القوية، وإلا فإن التفاعلات النووية ستدمره. كما يجب أن تكون له كتلة، لكى يؤدّ قوة جاذبية ويلعب دور المادة المعتمدة فى المجرات، ومن ثمّ فلقد سُمى «الجسيم ذو الكتلة الكبيرة والتفاعل الضعيف» أو WIMP.

من أين أتى الـ «ويمپ»؟ هناك عدة احتمالات تفصيلية، ولا يمكن أن تكون كلها صحيحة. لكننى أفضل شخصياً الفكرة القائلة بأن وجود الويمپ فى الكون يرتبط ارتباطاً وثيقاً بوجود المادة العادية التى نتكون منها، أى البروتونات والنيوترونات (المعروفة باسم جامع هو الباريونات)، ويمكننا إخراج الإلكترونات من المناقشة حالياً، نظراً لأن كتلتها صغيرة جداً مقارنة بالبروتونات والنيوترونات والويمپ. ويمكن فهم ذلك فى أفضل صورة بالشكل الذى عبر عنه لأول مرة فى الستينيات من القرن العشرين عالم الفيزياء السوفيتى أندريه ساخاروف.

كان السؤال المحير الذى طرحه ساخاروف، إذا كانت نظرية الانفجار العظيم صحيحة، فلماذا يُفترض أن توجد بالكون أية مادة على الإطلاق؟ ففى الانفجار العظيم ذاته، كانت الطاقة عند درجات الحرارة شديدة الارتفاع تتخذ شكل إشعاع. وعند مثل

رجات الحرارة العالية تلك، تستطيع الطاقة في الإشعاع الكهرومغناطيسى (الفوتونات) أن تتحول مباشرة إلى أزواج من الجسيمات - إلكترون وبوزيترون، بروتون وبروتون مضاد، نيوترون ونيوترون مضاد. وقد أثبتت كل الاختبارات العملية تقريباً، أن هذا النوع من التبادل بين الطاقة والكتلة يخضع لقانون أساسى هو قانون التماثل، أى إنه يتم خلق الجسيمات والجسيمات المضادة معاً. لأن الباريون الذى يتقابل مع نظيره الباريون المضاد يَفْنَى فى نفخة طاقة بحيث لا يترك وراءه أى جسيم، ومعنى ذلك أن تكوين أزواج الجسيمات والجسيمات المضادة، فى الواقع، لا يضيف إلى عدد الباريونات فى الكون. فإذا كان كل باريون يساوى (+1) وكل باريون مضاد يساوى (-1)، فإن كل زوج من جسيم وجسيم مضاد يضيف صفرًا بالضبط لعدد الباريونات فى الكون.

إذا كان هذا القانون الطبيعى قد سرى على الانفجار العظيم ذاته، فإنه فى مرحلة تالية، بعد أن برد الكون عن بدايته الساخنة، سيلتقى كل باريون، عاجلاً أو آجلاً مع نظيره الباريون المضاد ويلغيه. وبعد ١٥ مليار عام كنا سنجد كوناً زاحراً بالطاقة ولكنه خالٍ تماماً من المادة.

لقد أشار ساخاروف إلى أنه يتعين أن تكون هناك عمليات فعالة فى فترات مبكرة جداً من تاريخ الكون عملت بشكل انتقائى على إنتاج فائض من الباريونات يفوق عدد الباريونات المضادة عندما خُلقت المادة من الطاقة. لقد كانت مقولة ساخاروف مثل العديد من التنبؤات العبقريّة الفذة التى تبدو بدهية - بمجرد أن يقولها أحدهم أمامك (ولقد جعلت الأمر يبدو أبسط بكثير، بالطبع، بأن تجاوزت عن ذكر كافة الرياضيات المتصلة بهذا التبصر البارِع والدقيق والتى وضعتها على قاعدة علمية أكيدة). إن علماء الفلك يعرفون بالفعل كم الإشعاع الكبير الموجود فى الكون حالياً. إذ يمكنهم رصد والتقاط أضعف هسيس للموجات اللاسلكية يأتى من كل الاتجاهات فى الفضاء، ويُعرف بالخلفية الإشعاعية الكونية. هذا الإشعاع هو ما تبقى من كرة نار الانفجار العظيم بعد أن بردت لمدة ١٥ مليار عام. إن هذا الإشعاع يملأ كل الكون، وتبلغ درجة حرارته حالياً أقل قليلاً من ٣ كلشن (أى أقل من 2.7×10^{-3} م°)، وهو ما يكافئ وجود ٤٨٨ فوتوناً فقط فى كل سم^٣ من الفضاء فى كل مكان فى الكون. وإذا كانت كل المادة فى كل النجوم المضيئة والمجرات (كل المادة الباريونية) موزعة بشكل متماثل عبر الكون، فمعنى ذلك أن كل عشرة ملايين سم^٣ تحتوى جسيماً واحداً فقط. بطريقة أخرى، فإن لكل بروتون أو نيوترون فى الكون يوجد مليار، (١٠) فوتون تقريباً.

هذه النسبة (١٠) : ١، هي مقياس لصغر حجم الخلل فى القانون القائل بأن الجسيمات والجسيمات المضادة تتكون دائماً فى شكل أزواج - ومما يثير الدهشة أنه لم يتم أبداً قياس ذلك بشكل مباشر فى ظل الظروف العملية! إن هذه النسبة تقول لنا إن لكل مليار باريون مضاد نتج فى الانفجار العظيم هناك مليار باريون زائد باريون واحد. وفى كل حالة، يلغى مليار من الأزواج بعضها البعض لإنتاج مليار فوتون، ويتبقى باريون واحد.

ولا يزال علماء الفيزياء يصارعون من أجل وضع نظرية موحدة ستحقق التوازن الصحيح تماماً بين الباريونات والفوتونات الناجمة من التفاعلات التى حدثت فى الانفجار العظيم. هناك عدد من المتنافسين على مثل هذه النظرية، لكن أحداً منهم لم يحدد الإجابة «الصحيحة» بدقة. غير أن ذلك ليس هو المهم هنا. النقطة المهمة هى أن القياسات التى قام بها علماء الفلك تنطق بالإجابة الصحيحة، وهى أن هناك مليار فوتون لكل باريون. وإذا كانت توجد أيضاً مادة معتمدة فى الكون - كما يجب أن يكون ذلك، وإذا أخذت القيمة الظاهرية لعمليات رصد حركات النجوم والمجرات - فعندئذ يكون افتراض أن المادة المعتمدة (الويمب) قد تكونت بالطريقة نفسها تقريباً، هو الافتراض الأبسط والأكثر طبيعية. وإلى أن يظهر سبب قوى للتخلى عن تلك البساطة واللجوء إلى نظرية أكثر تعقيداً تصف كيفية وصول الأشياء إلى ماهيتها حالياً، علينا أن نخمن أن لكل مليار ويمب مضاد تكون فى الانفجار العظيم هناك مليار ويمب زائد ويمب واحد، وبالتالي فإن الفائض المتبقى حتى يومنا هو ويمب واحد لكل مليار فوتون، أو ويمب واحد لكل باريون. وإذا كان ذلك صحيحاً، فإن مجموع الويمبات التى تتراوح كتلة الواحد منه بين خمسة وعشرة أضعاف كتلة البروتون يمكن أن يوفر تماماً كمية المادة المعتمدة التى تحتاج إليها مجرتنا. وأحد تداعيات ذلك هو أن النجوم المضيئة - المادة الباريونية - تمثل ١٠٪ من كتلة الكون، وأن ٩٠٪ من كتلة الكون هى فى شكل ويمبات بالفعل. قد يصعب على البشر الذين يتكونون من باريونات (والكترونات)، ويعيشون على كوكب باريونى يدور حول نجم باريونى، تقبُّل ذلك. إلا أن الأمر حقيقى رغم كل شئ. فهناك كمٌّ ضخم من الأدلة على أن ما نراه فعلاً هو واحد على عشرة فقط من الكون، وأن الباقي مختفٍ عن نظرنا المتفحص.

روابط كونية

بصرف النظر عن حقيقة أن الطريقة التي تتحرك بها النجوم والمجرات تدل على أنها مشدودة بقوة جاذبية كمية كبيرة من المادة المعتمدة، فإن جيلاً كاملاً من علماء الكونيات تملكتهم الحيرة حول الكيفية التي وُجدت بها المجرات أصلاً. إن المجرة النموذجية لها كتلة تكافئ مائة مليار شمس، ومثل هذه المجرات هي السمات الأساسية لكوننا - ويشار إليها أحياناً بأنها «جُزُر في الفضاء». إن الكون نفسه يتمدد، ونحن نعلم ذلك من قياسات الضوء القادم من المجرات البعيدة، والتي تبين إزاحة مستمرة نحو النهاية الحمراء للطيف. ويتم تفسير هذه الإزاحة نحو الطيف الأحمر إذا كانت كل المجرات تتحرك بعيداً عن بعضها البعض - وهو تأثير ضوئي يكافئ التأثير الصوتي الذي يجعل صوت صفارة إنذار سيارة الشرطة أكثر خفوتاً إذا كانت السيارة تنطلق بعيداً عنك. ومع ذلك، فإن الزحزحة نحو اللون الأحمر من الطيف لا يعنى أن المجرات تتحرك عبر الفضاء كما تتحرك الأرض عبر الفضاء وهي تدور حول الشمس، أو كما تتحرك الشمس عبر الفضاء وهي تدور حول مركز مجرتنا، مجرة درب اللبانة. وإنما يُفسر ذلك بأن الفضاء ذاته يتمدد - وهو ما تنبأت به فعلاً نظرية النسبية العامة لأينشتاين، قبل رصد الزحزحة نحو اللون الأحمر من الطيف.

كان الكون، في الانفجار العظيم، من زمن بعيد، عبارة عن كرة نار ساخنة وكثيفة، وحركة فوضوية عنيفة. وعندما تمدد هذا الكون أصبح أقل كثافة وأكثر برودة حتى وصلت درجة حرارته إلى ٣ كلفن، وبلغت كثافته جسيماً واحداً لكل عشرة ملايين سم^٢ من الفضاء. ولكن كيف يمكن لسُحُب من الغاز تحتوى على مادة تساوى من الناحية الكمية مائة مليار شمس أن تتكثف من الكون المتمدّد، بينما يحاول تمدد الفضاء أن ينشر الغاز ليصبح أقل كثافة، ويمزق السحب قبل أن تتمكن من الانهيار؟

وفى الثمانينيات من القرن العشرين، أدرك علماء الكونيات الإجابة عن هذا السؤال، وهي أن ذلك لا يمكن أن يحدث دون تدخل. إن قوة جاذبية كل النجوم المضيئة في أية مجرة، أو حتى في جماعة من المجرات، لا تكفى لتفسير كيف تماسكت سحابة الغاز الأصلية في المراحل الأولى من الكون المتمدّد. لكن محاكاة الكمبيوتر لطريقة انهيار «سحب الغاز عند تمدد الكون تبين أن الحيلة «يمكن» أن تنجح، شريطة أن يكون هناك عشرة أضعاف كمية المادة المعتمدة تنتشر في هالة ممتدة حول كل مجرة. وإن الويمپ من

النوع الذى سبق وصفه فى القسم السابق هو ضالتنا المنشودة لتحقيق التوازن فى المعادلة، ولتوفير قوة الجاذبية الإضافية التى كانت تحتاجها المجرات الأولية لكى تتماسك معاً فى الكون المتمدد(*) .

لكن الويمبات لا تشكل سُحباً تنهار لتكون نجوماً. إن المادة الباريونية فقط هى التى تقوم بهذا العمل. وذلك لأن الويمبات لا تحمل شحنة كهربية، وبالتالي لا يمكنها إشعاع طاقة فى الفضاء. وعندما تنكمش سحبية من الجسيمات تحت تأثير قوة الجاذبية، فإنها تصبح أكثر سخونة لأن طاقة الجاذبية تتحرر - وتتحرك الجسيمات بسرعة أكبر ويزيد الضغط داخل السحابة وتقاوم أى انهيار بعد ذلك. وتنطبق هذه القاعدة على سحبية من الويمبات أكبر من مجرتنا، كما تنطبق على الشمس نفسها. وإذا كانت السحابة تتكون من باريونات، فإن الحرارة تتحول إلى إشعاع كهرومغناطيسى بواسطة الجسيمات المشحونة، ويهرب هذا الإشعاع خارج السحابة. وبالتالي يخف الضغط، وتواصل السحابة الانكماش وتصبح أكثر سخونة فى الداخل إلى أن يبدأ الاحتراق النووى ويؤمن الضغط ~~الضغط~~ الإضافى المطلوب لوقف الانهيار (وكما يحب چون فولكنر أن يقول، إن التفاعلات النووية، بهذا الشكل، هى التى تحفظ النجوم «باردة»، وذلك بحمايتها من مزيد من الانهيار مع الاحتفاظ بداخلها أكثر سخونة!). لكن إذا لم تكن هناك وسيلة لتحرير الطاقة من داخل السحابة فى شكل إشعاع، فإن السحابة تتوازن عندئذ وتثبت عند حجم مناسب. والحجم المناسب بالنسبة للويمبات التى تخلفت من الانفجار العظيم، كبير جداً. إن الويمبات منتشرة عبر هالة شبه كروية حول مجرتنا، عازقة عن التفاعل مع الباريونات أو مع بعضها البعض إلا عبر قوة الجاذبية. غير أن نجماً مثل شمسنا يمخر عباب بحر من الويمبات، لا بد أن يتجمع داخله عدد متواضع نسبياً من هذه الجسيمات، تم التقاطه والإمساك به هناك بواسطة قوة جاذبية الشمس ذاتها. وقد أوضح ذلك فريقان من الباحثين، على طرفى القارة الأمريكية، هما: فريق سانتاكروز وباحتو هارفارد، اللذان قاما، كل على حدة وبشكل مستقل تماماً، بشرح سبب برودة قلب الشمس عما يُفترض أن يكون وكيفية حدوث ذلك.

(*) مما يؤدى إلى البلبلة، أن الباحثين الذين استخدموا الكمبيوتر فى عمليات المحاكاة لتكون المجرات يشيرون إلى المادة الممتعة بتعبير «مادة معتمة باردة» (CDM). إن الكوزميون و (CDM) والويمب هى الشئ نفسه، وإن اختلفت الأسماء الثلاثة. وسوف ألتزم فى هذا الكتاب بتعبير ويمب.

الاحتفاظ بالشمس باردة

يتوقف كل شيء على كمية الويمبات التي التقطتها الشمس خلال حياتها، وعلى المكان المحدد الذى تكمن فيه داخل الشمس. ولحسن الحظ، أن هذه السمات يسهل حسابها. يستطيع الويمب الواحد أن يمر رأساً عبر الشمس بدون أن يصطدم بأكثر من بروتون واحد (أو أية نواة أخرى) - فالويمبات عازفة عن التفاعل مع المادة العادية مثل عزوف النيوتريونات تقريباً. وبالتالي، فإن الشيء الوحيد المهم فى الحقيقة هو قوة الجاذبية، طالما أن ما يهمنا هنا هو اصطياذ الويمبات داخل الشمس. ويتعين على أى جسيم أن يتحرك على سطح الشمس بسرعة ١١٧ كم/ث ليتمكن من الهروب من قوة جاذبية الشمس - وهى «سرعة الهروب»، إذ سيتم أسر أى جسيم يتحرك بسرعة أقل منها. أما داخل الشمس، فتصل سرعة الهروب إلى ٢١٠٠ كم/ث وذلك فى المسافة التى يقع فيها نصف كتلة الشمس بين جسيم ما والمركز. غير أن هذه المسافة تمثل أكثر بكثير من نصف المسافة بين السطح والمركز - لنذكر أن ٤٠٪ من كتلة الشمس تتركز فى قلب لا يشغل سوى ٢٥٪ من نصف قطرها. لكن فى القلب ذاته، يجب على أى جسيم أن يتحرك بسرعة ٣ آلاف كم/ث، وأن يكون محظوظاً بدرجة كافية لكى يتفادى التصادم مع بروتون أو أية نواة أخرى وهو فى طريقه إلى الخارج، لكى يتمكن من الهروب تماماً إلى الفضاء.

إن كل ويمب فى هالة الجسيمات التى تحيط بمجرتنا يتحرك فى مداره الخاص، ويبقى فى مكانه بفعل قوة الجاذبية. إن السرعة المطلوبة للبقاء فى مدار معين واحدة أياً كانت كتلة الجسيم. وعند المسافة التى تفصل الشمس عن مركز المجرة تبلغ السرعة المدارية المناسبة حوالى ٣٠٠ كم/ث، سواء أكان الجسم الذى يدور فى هذا المدار نجماً أم ويمباً أم كوكباً افتراضياً معتماً. ومن ثم، فمن السهل إدراك أن أغلب الويمبات التى تحصدتها الشمس أثناء مرورها عبر الفضاء سوف «تلتصق» بها بالفعل. وإذا لحقت الشمس بالويمب فلا يوجد أبداً أى فرق فى السرعة، وحتى إذا كان الويمب يتحرك فى الاتجاه المعاكس للشمس، فإن سرعته النسبية فى التصادم الأمامى تكون ٦٠٠ كم/ث فقط، وهى سرعة لا تكفى للهروب ولا حتى من سطح الشمس. وتأخذ الحسابات الدقيقة فى الاعتبار طريقة استقطاب الجسيمات بواسطة مجال قوة الجاذبية الخاصة بالشمس، كما تدخل فى حسابها التوزيع المثلثي للويمبات عبر الهالة من أجل تأمين

«الكتلة المفقودة»، وتعطى هذه الحسابات الدقيقة إجمالى سكان الشمس من الويميات فى الوقت الراهن، آخذة فى اعتبارها الأربعة مليارات ونصف المليار من الأعوام التى قضتها الشمس تُبحر عبر الهالة إلى يومنا هذا. إن تركيز الويميات المطلوب لتوفير الكتلة المفقودة فى مجرتنا، مثلاً، يكافئ الكتلة الشمسية من المادة المنثورة عبر كل ألف سنة ضوئية مكعبة من الفضاء. وعند وضع تلك الأرقام فى الحسبة، ومعها الأرقام الأخرى الوثيقة الصلة بالموضوع، تتضح ضرورة أن يكون هناك ويمب واحد داخل الشمس لكل مائة مليار بروتون، علماً بأن كل ويمب له كتلة تتراوح ما بين خمسة إلى عشرة أضعاف كتلة البروتون.

إنها نسبة صغيرة. إن نسبة الويميات للبروتونات داخل الشمس «أقل» مائة مرة عن نسبة الباريونات إلى الفوتونات فى الكون ككل - والذى بدا كرقم صغير عند تعرفنا عليه أول مرة. هل يمكن لمثل هذا الجزء اليسير من الويميات أن يؤثر فعلاً فى طريقة عمل الشمس؟ والمدهش أن الإجابة عن هذا السؤال هى «نعم».

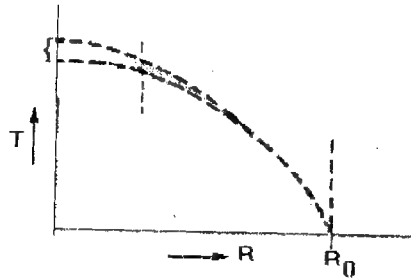
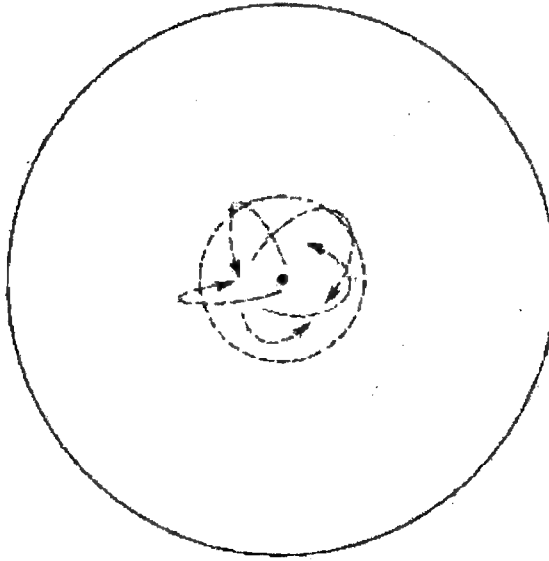
إن الويميات ذات الكتلة التى تتراوح بين خمسة وعشرة أضعاف كتلة البروتون، سوف تستقر داخل الشمس فى مدارات مستقرة تنتشر على امتداد ١٠٪ فقط من نصف قطر الشمس. وتكوّن هذه المدارات قلباً رقيقاً من الويميات، يتحرك عبر الجزء الأكثر كثافة من الشمس، وكأن الباريونات ليست موجودة تقريباً. لكن كلمة «تقريباً» هى مفتاح الطريقة التى تبرّد بها الويميات قلب الشمس. إن النيوتريونات التى رصدها دافيز وزملاؤه إنما تنتج من تفاعلات نووية تحدث فى أكثر أجزاء الشمس سخونة، وهو الجزء الأعظم من نصف قطر الشمس والذى يُقدر بـ ٥٪ منه. غير أن بعض التفاعلات النووية تستمر فى الحدوث خارج هذا القلب الداخلى مباشرة، حيث درجة الحرارة أقل قليلاً. ورغم أن درجة الحرارة تكون أقل فى ذلك الجزء الخارجى للقلب، بحيث يتم الاندماج النووى بقوة أقل، فإن حجم هذا الجزء يكون أكبر (الذى يعتمد بالطبع على «مكعب» نصف القطر). وبالتالي، فإن أغلب الطاقة الناتجة عن التفاعلات النووية داخل الشمس تأتى بالفعل من المنطقة الواقعة خارج الـ ٥٪ التى تمثل الجزء الأعظم من قلب الشمس، وتمتد هذه المنطقة إلى حوالى ١٢٪ من نصف قطر الشمس. وتتجمع فى هذه المنطقة بالذات الويميات ذات الكتل الواقعة فى المدى المعنى. وتختلف الويميات التى تدور فى مدارات داخل الشمس عن الجسيمات فى المدارات المحضة، والتى لا تتأثر إلا بقوة الجاذبية، فالويميات الشمسية تتأثر أيضاً بالتصادمات العارضة مع البروتونات والأنوية

الأخرى. ومن ثم تتوقف المنطقة التى تستقر فيها على كتلتها. إن الويمبات الأخف كتلة تكتسب طاقة من التصادمات مع البروتونات وتهرب من الشمس، فى حين أن الويمبات ذات الكتلة الأكبر تخسر طاقة نتيجة تلك التصادمات وتغوص داخل الجزء الأعمق من قلب الشمس، وبالتالي لن تتمكن قط من التأثير على المنطقة المهمة المحصورة بين ٥% و ١٠% من نصف قطر الشمس فى الاتجاه من الداخل إلى الخارج. لكن إذا كانت كتل الويمبات فى المدى المطلوب لتأمين المادة المعتمدة فى الكون، فإن مداراتها ستأخذها عبر الـ ١٠% من الجزء الداخلى لقلب الشمس.

وفى كل مدار يتعرض كل ويمب لتصادم واحد، فى المتوسط، مع بروتون. وإذا حدث هذا التصادم فى الجزء الأكثر عمقاً من قلب الشمس (أى الـ ٥% الداخلية من نصف قطر الشمس)، فإن الويمب سيكسب طاقة تجعله يتحرك بسرعة أكبر - ويصبح أكثر سخونة. وفى الوقت نفسه، يفقد البروتون الذى صدمه الويمب طاقة ويتحرك بسرعة أقل - ويصبح أقل حرارة. لكن عندما يصطدم ويمب سريع الحركة مع بروتون يتحرك بسرعة أبداً خارج المركز بمسافة بسيطة، فإنه يفقد بعض طاقته. وعندئذ تبطئ سرعة الويمب ويفقد قدرًا من حرارته، بينما تزيد سرعة البروتون وتصبح درجة حرارته أعلى. إن الويمبات بتحركها السريع حول الـ ١٠% الأكثر قريباً من مركز الشمس، وباصطدامها العرَضى مع البروتونات وأنوية أخرى، تقوم بتعديل ظروف درجة الحرارة عبر الـ ١٠% الأكثر قريباً من مركز الشمس؛ مما يجعل ذروة درجة الحرارة فى المركز أقل مما يجب أن تكون عليه طبقاً للنموذج القياسى. إن الويمبات تجعل الجزء الأقرب لمركز الشمس والذى يمثل ٥% أقل حرارة بعض الشيء، فى حين تجعل الـ ٥% التالية أعلى حرارة قليلاً، والتأثير الكلى لذلك هو أن كمية الطاقة النووية المنتجة هى نفسها بالضبط، غير أنه يتم إنتاجها من قلب أكبر حجماً وساخن بدرجة أكثر توازناً عن النموذج القياسى.

إن الويمبات تستطيع أن تفعل ذلك، بالرغم من ندرتها، نتيجة للسرعة التى تنقل بها الطاقة. ولنتذكر أن الفوتون الذى يتصادم مع مليارات البروتونات فى مساره العشوائى الشديد الاحتياج وهو فى طريقه خارج قلب الشمس، سيستغرق مئات آلاف السنوات لعبور الجزء الداخلى من نصف قطر الشمس والذى يُقدر بـ ١٠% من نصف قطرها. لكن الويمب يعبر هذه المسافة فى حوالى ١٧ دقيقة. إن كل ويمب يقوم بهذه الرحلة الانكفائية (أى التى تبدأ من نقطة انطلاق معينة وتنتهى عند النقطة نفسها عبر الطريق نفسه عادة) عبر الجزء الداخلى من نصف قطر الشمس، الذى يُقدر بـ ١٠%

مرتين تقريباً كل ساعة، أى ٤٨ مرة فى اليوم الواحد، أى ما يقرب من ١٨ ألف مرة سنوياً على امتداد كل مليارات الأعوام التى كانت فيها الشمس تلمع وتضىء. ويحمل الويمپ فى كل مرة حصته من الطاقة إلى الخارج. إن النسبة بين الزمن الذى يستغرقه الويمپ لعبور الـ ١٠٪ الداخلية من نصف قطر الشمس والزمن الذى يستغرقه الفوتون للقيام بالرحلة نفسها هى مائة مليار إلى واحد - وهى النسبة نفسها بين عدد الباريونات إلى عدد الويمپات. وتعوض الويمپات بفاعليتها فى تحريك طاقة إلى الخارج عبر المنطقة الحرجة ندرتها داخل الشمس (شكل ١ - ٥).



(شكل ١ - ٥): تقوم الويمپات التى تدور فى أكثر الأجزاء قريباً من باطن الشمس والتى تمثل ١٠٪ من نصف قطرها بنقل الحرارة إلى الخارج؛ مما يجعل درجة حرارة قلب الشمس تنخفض بمعدل ١٠٪. ويوضح ذلك الرسم البيانى لدرجة الحرارة فى الجزء المشار إليه بالقوس (C) وهذا الرسم التبسيطى لا يوضح كيف أن الحرارة المناد توزيعة تدفق بالفعل المنطقة التى تقع مباشرة خارج قلب الشمس، بحيث تبقى الطاقة الكلية المنتجة ثابتة. إن الظروف على سطح الشمس (R_0) لا تتأثر بوجود الويمپات. والنقطة الرئيسية هى أن انخفاض الحرارة المركزية يفسر بالضبط ندرة النيوتريونات التى رصدها راي دافيز وزملاؤه. (يعتمد هذا الشكل على أرقام قدمها جون فولكنر).

ولقد أوضحت النماذج القياسية للشمس التى وضعها الكمبيوتر بعد إضافة تأثيرات الويميات إليها، إن درجة حرارة الجزء الداخلى من قلب الشمس، حيث يتم إنتاج نيوتريونات دافيز، تنخفض بشكل تلقائى بنسبة الـ ١٠٪ المطلوبة بحيث تتلاءم قياسات النيوتريينو مع النظريات، شريطة أن تكون كتلة الويميات محصورة بين خمسة وعشرة أضعاف كتلة البروتون وأن تكون النسبة بين الويميات والبروتونات هى ثلاثة ويميات لكل مائة مليار بروتون - وفى حدود دقة كل هذه الحسابات، فإنها الخواص نفسها المطلوبة للويميات لكى توفر المادة المعتمدة فى مجرتنا، ولكى تساعد على تكوين المجرات فى المقام الأول.

إن تأثير هذا الانخفاض فى درجة حرارة التفاعلات النووية يؤدى إلى خفض عدد النيوتريونات التى يمكن رصدها بتجربة دافيز بمُعامل اثنين أو ثلاثة؛ مما يجعل النظرية تتطابق بشكل جميل مع المشاهدات.

وعندما تقوم الويميات بخفض درجة حرارة القلب الداخلى للشمس، فإنها تخفض بالضرورة أيضاً ضغط الإشعاع هناك، ويعنى ذلك أن كثافة المادة يجب أن تزيد قليلاً عنها فى النموذج القياسى، بحيث يسهم ضغط الغاز بنصيب أكبر فى تماسك الشمس ضد قوة الجاذبية. غير أن ذلك لا يمثل مشكلة، بل قد يكون ميزة كما سنرى فى الفصل السابع.

رد الفضل إلى أصحابه

لقد ظهر كل ذلك فى فورة من الأبحاث العلمية نُشرت فى عامى ١٩٨٥ و ١٩٨٦، وتقاسم الفضل فيها بالتساوى أخيراً فولكنر وجيليلند وپرس وسپرجل. لكن الطريق إلى ذلك لم يخلُ من إثارة. ليس من الصعب تصور مدى الرعب الذى شعر به فولكنر، فى بداية عام ١٩٨٥، عندما وصلت إلى سانتاكروز نسخة «ما قبل الطبع» لأول بحث عن الكوزميونات لپرس وسپرجل. وبإحساس بالهزيمة، أدرك فولكنر أن البحث قدم نفس الحل الذى اكتشفه هو وجيليلند قبل ذلك بسبع سنوات لمشكلة النيوتريينو الشمسى، ولكنهما لم ينشراه قط. أما بحث پرس وسپرجل، فلقد أُعد فعلاً للنشر فى أكثر المجلات العلمية احتراماً والتي يقرؤها علماء الفلك، وهى مجلة الفيزياء الفلكية (Astrophysical Journal). وكان الوقت الذى مر طويلاً بحيث لم يتمكن فولكنر من أن

يتذكر كم التفاصيل التي تم نشرها من بحثه المشترك مع چيليند فى عام ١٩٧٨، ضمن البحث الذى قاما بإعداده مع شتيجمان والآخرين. لكنه كان يعلم جيداً أن فى العلم يرجع فضل الفكرة الجديدة إلى الشخص الذى «نشرها» أولاً، سواء أكان هناك شخص آخر فكر فيها قبله أم لا.

وبحث فى مكتبه عن نسخة من مقال ١٩٧٨، ولكنه اكتشف أنه تخلص منذ زمن طويل من كل النسخ. وعندئذ ذهب إلى مكتبة الكلية، فوجد أن مجلد المجلة الفلكية (Astronomical Journal) الذى يضم البحث المشترك معار خارجياً. كما لم يتمكن من العثور على مُسوّدة البحث الذى عمل فيه مع چيليند فى عام ١٩٧٨ ولم يُنشر، بل إن چيليند ذاته، بعد أن أنهى دراسات درجة الدكتوراه، ذهب منذ فترة طويلة إلى مرصد هاى التيتيود بمدينة بولدر بولاية كولورادو، حيث كان يتابع خط بحث مختلفاً تماماً فى سلوك الشمس (المزيد عن ذلك الموضوع فى الفصل السادس). وقرر فولكنر، مكتئباً، أن يتصل بپرس ويقارن معه مذكراتهما. ويتذكر فولكنر بعد ذلك رد فعل پرس، ابتهاج شديد مفهوم من جانب پرس الذى قال: «حسن، إنه شيء سيئ جداً يا جون»، واستطرد ضاحكاً وساخراً: «أنت تدرك أن كل الفضل يذهب لمن كانت لديه شجاعة قناعاته ونشر [الفكرة] أولاً».

ولم يساعد ذلك فى تخفيف اكتئاب فولكنر. لكنه فى اليوم التالى وجد أن مجلد عام ١٩٧٨ من المجلة الفلكية قد أُعيد إلى المكتبة. وقلب الصفحات، فى عجلة من أمره، بحثاً عن المقال المطلوب، وفحص بدقة الجزء (ج) من القسم الخامس. وكانت فرحته عظيمة عندما وجد، بالإضافة إلى الفكرة الأساسية المذكورة فى هذا المقال، تلخيصاً لأربع خلاصات أساسية من الخلاصات الخمس التى توصل إليها فى بحثه مع چيليند. وكان ذلك كافياً لإقامة أولوية علمية لا يطالها أى ظل شك. وبعد أن اطمأن، اتصل مرة أخرى بپرس ليخبره بالأنباء. ويقول فولكنر: «لقد لعننى بطريقة لطيفة، وهو مفتاظ»، لكن بعد انتهاء المزاح اتفق الفريقان سريعاً على توحيد القوى لإنتاج بحث نهائى يصف سيناريو الويمپ (WIMP).

ومع ذلك، فقد كان على فولكنر أن ينجز، أولاً، مهمة ممتعة. فلقد عثر، بعد تفتيش دقيق لمكتبه، على مسوّدة عمرها سبعة أعوام ومغطاة تماماً بالأتربة تتضمن البحث

الذى أعده بالاشتراك مع جيليلند. وكانت المسودة لا تحتاج إلا لتغييرات طفيفة لتكون جاهزة لإرسالها للنشر فى مجلة الفيزياء الفلكية - مراجعة المقدمة واعتراف بعمل سبرجل وپرس المستقل، وإضافة جزء جديد يشكر فيه «العديد من الزملاء الذين تناقش معهم على امتداد السنوات، بما فى ذلك، بشكل خاص، جارى شتيجمان (الذى لولا نصيحته لكان هذا البحث قد نُشر قبل أوانه)». وبعد أن تم نشر البحث بشكل وافٍ قبل نهاية عام ١٩٨٥، أصبح فولكنر مستعداً من جديد لأن يبدأ العمل فى تداعيات الويمپات على تطور النجوم.

وكان التعاون مع پرس وسبرجل (الذى تم نشره أيضاً فى مجلة الفيزياء الفلكية فى يوليو ١٩٨٦) تطوراً طبيعياً لأعمال الفريقين السابقة، وليس مجرد إجراء دبلوماسى. استخدم فولكنر وجيليلند تقنيات تقريبية لتقدير الطريقة التى تتفاعل بها الويمپات مع الجسيمات الأخرى فى قلب الشمس، ولكنهما استخدمتا حسابات مفصلة للنموذج الشمسى لتحديد تداعيات ذلك فيما يتعلق بالنواتج من النيوتريونات الشمسية القابلة للرصد. وفى الجانب الآخر، قام پرس وسبرجل باستنباط خواص الويمپ بتفصيل كبير، مستخدمين التقدم الذى تحقّق فى نظرية الجسيمات الفيزيائية وفى الكوزمولوجيا فى غضون السنوات الأولى من الثمانينيات من القرن العشرين، ولكنهما لم يحققا تفاصيل التغيرات فى تركيب الشمس، وإنما أثبتا فقط أن الويمپات تستطيع فعلاً خفض درجة حرارة قلب الشمس. لقد تمكن الفريقان معاً من أن يقدموا القصة كلها، كما عُرِضت خطوطها العريضة فى القسم السابق.

لم يتمكن أحد بعد من «إثبات» أن الويمپ موجود فعلاً - إذ يتطلب ذلك التقاط واحد من الويمپات فى العمل (وقد لا يكون ذلك مستحيلاً، انظر الفصل الثامن). لكن الدليل الظرفى على وجود الويمپ قاهر بالفعل. قال جون باكول عالم الفيزياء النظرية الذى قدم أكثر الدراسات اجتهاداً عن مشكلة النيوترينو الشمسى، والذى شارك فى البحث عن الكتلة المفقودة، معلقاً على الويمپات «إنها تحل مشكلتين أساسيتين ومثيرتين للسخط، إنها فكرة جميلة جداً ويعنى إثبات عدم صحتها ضياع فرصة كبيرة». ومن ناحية أخرى، ألقى روجر تاييلور (Roger Tayler)، من جامعة ساسكس، محاضرة رئيسة أمام الجامعة الفلكية الملكية بلندن، فى أواخر عام ١٩٨٨، قال فيها إنه بالرغم من «تعدد محاولات حل مشكلة النيوترينو الشمسى، فإن «المحاولة الوحيدة التى تخضع

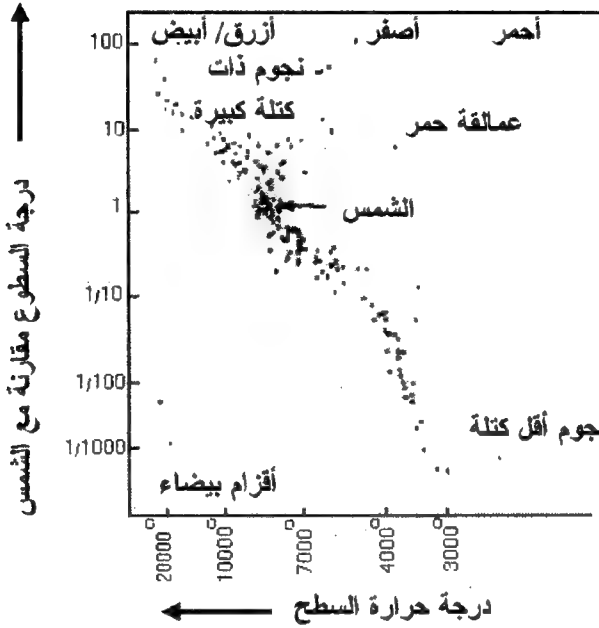
فى الوقت الراهن لدراسة عملية، هى تلك التى تتضمن وجود جسيمات ذات كتلة كبيرة وتفاعل ضعيف (الويميّات) فى الجزء الداخلى من الشمس» فعلى مدى عشر سنوات، تحولت نظرية الويميّ من كونها «مجرد فكرة غريبة أخرى» إلى النظرية «الوحيدة» الجديرة بالاحترام حالياً والتى تقدم تفسيراً لمشكلة النيوتريّو الشمسى. وفى غضون ذلك، قام فولكنر بتطبيق هذه النظرية أيضاً لحل بعض المشكلات المتعلقة منذ زمن فى النظرية الخاصة بالنجوم.

نجوم أخرى

إن الأداة الأكثر نفعاً لدى علماء الفلك لدراسة كيفية تغير النجوم عندما يتقدم بها العمر تُسمى رسم هرتز سبرونج - رسل التخطيطى، نسبة إلى عالمى الفلك اللذين كانا رائدين فى استخدامه. ونظراً لأن النجوم تعيش طويلاً جداً، وتتغير ببطء شديد فليس هناك أمل فى دراسة تطورها بمراقبة شيخوخة نجم أو اثنين. إلا أن رسم H-R التخطيطى يتيح لعلماء الفلك القيام بما يكافئ عمل عالم النبات الذى يدرس غابة من الأشجار تتضمن نباتات صغيرة وشجيرات وأنواعاً تامة النمو، ويستخدم هذه الدراسات لاستنباط دورة حياة شجرة.

إن رسم H-R التخطيطى هو نوع من الرسم البيانى، حيث تتم مقارنة درجة السطوع الكلى لنجم ما (والتي تُقاس عادة بوحدات، حيث درجة سطوع الشمس هى ١) مع درجة حرارة سطحه (والتي تكون مكافئة لونه، فالنجوم الزرقاء درجة حرارتها أعلى من النجوم الحمراء، وهكذا، بطريقة يمكن قياسها بدقة). إن أغلب النجوم تتبع القاعدة البسيطة تماماً التى تنص على أن النجوم الأكثر سطوعاً تكون أكثر سخونة من النجوم الأقل سطوعاً، وهى تقع فى رسم H-R التخطيطى على نطاق ينتقل من أعلى اليسار (ساخن وساطع) إلى أدنى اليمين (بارد وباهت). إن الشمس نجم من السلسلة الرئيسة (شكل ٥ - ٢). لكن هناك استثناءات لهذه القاعدة. فبعض النجوم تكون ساطعة وباردة فى آنٍ واحد، بينما تكون نجوم أخرى ساخنة وباهتة فى ذات الوقت. من الممكن أن يكون نجم ساطعاً، وبالرغم من ذلك يكون سطحه بارداً (وبالتالى يبدو لونه أحمر). إذا كان ضخماً جداً. إن عدد الأمتار المربعة لسطح مثل هذا النجم ضخّم ومن ثم يطلق كمّاً كبيراً من الطاقة فيبدو ساطعاً، غير أن كمية الحرارة التى تعبر كل متر مربع من

السطح صغيرة وبالتالي يكون بارداً. مثل هذه النجوم هي العمالقة الحمراء، وتقع في أعلى يمين رسم H - R التخطيطي. وبالمثل، يمكن لنجم باهت أن يكون ساخناً إذا كان صغيراً جداً. فرغم تدفق كمية طاقة كبيرة من كل متر مربع من سطحه، مما يجعل ضوءه أبيض، فإن هذه الطاقة تتدفق عبر عدد صغير جداً من الأمتار المربعة، وتُسمى مثل هذه النجوم الأقزام البيضاء، وتحتل أسفل يسار رسم H - R التخطيطي.

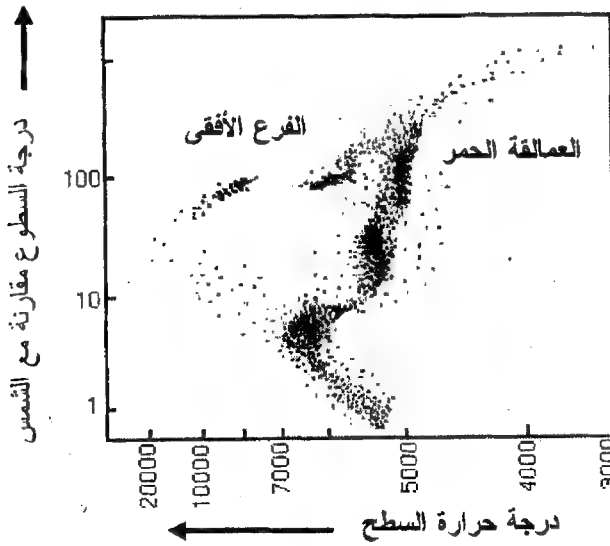


شكل (٢-٥): يربط رسم H-R التخطيطي بين درجة سطوع النجم ودرجة حرارة سطحه، أو لونه. وتقع الشمس في السلسلة الرئيسية في نطاق يمتد من أعلى اليسار إلى أسفل اليمين في الرسم التخطيطي.

وتتماثل السلسلة الرئيسية في عملها مع نجوم مثل شمسنا، تحرق الهيدروجين في قلبها وتحوله إلى هليوم. إن معدل حرق مثل هذه النجوم لوقودها النووي وبالتالي درجة سطوعها، يتوقف على كتلتها. فكلما زادت كتلة النجم احتاج إلى إنتاج مزيد من الطاقة في قلبه كل ثانية لكي يتماسك في مواجهة قوة شد الجاذبية إلى الداخل. ومن ثم تكون النجوم الساطعة الواقعة في قمة السلسلة الرئيسية ساطعة لأنها أكبر حجماً وكتلة، وتستخدم وقودها بسرعة أكبر من تلك التي في قاع السلسلة.

ولقد تم تحديد كل ذلك بدرجة كبيرة بواسطة دراسة رسوم H - R التخطيطية لمجموعات مختلفة من النجوم. وبشكل خاص، هناك بعض مجموعات النجوم المعروفة

بالعناقيد أو المجموعات الكروية، التي يبدو أنها تكونت من انهيار سحابة غاز واحدة عندما كانت المجرة أصغر عمراً. ويتعين بالتالى أن يكون لكل نجم فى مجموعة كروية ما نفس العمر. وعندما نظر علماء الفلك إلى رسم H- R التخطيطي لمثل هذا التجمع شكل (٣ - ٥)، وجدوا أن النجوم عند الطرف الساطع للسلسلة الرئيسة قد اختفت، وحلت محلها نجوم أبرد وعلى مسافة أبعد إلى يمين الرسم التخطيطي. كما يوجد عادة، ذيل من النجوم بين الموقع الذى كان «يجب» أن تكون فيه السلسلة الرئيسة العلوية و«فرع العملاق الأحمر الجديد»، وهذا الذيل هو الفرع الأفقى الذى أشرت إليه سابقاً.



شكل (٣ - ٥) فى رسم H - R التخطيطي لبعض تجمعات النجوم يكون الجزء العلوى من السلسلة الرئيسة مفقوداً، ويحل محله نجوم عملاقة حمراء. والنقطة التى تنثنى عندها السلسلة الرئيسة نحو اليمين، تشير إلى عمر تجمع النجوم.

لقد أعطت دراسات تفصيلية لعدة نجوم فى العديد من المجموعات الكروية، صورة واضحة لكيفية تطور نجم مثل شمسنا بعد مقارنتها بنماذج الكمبيوتر المستندة على الفيزياء القياسية (تدخل النجوم الضخمة جداً، بالطبع، فى انفجارات سوبرنوفا، لكنها قصة أخرى لا أريد مناقشتها هنا). عندما يتوقف احتراق الهيدروجين عن الاستمرار فى قلب النجم، ينكمش الجزء المركزى للنجم المنتمى للسلسلة الرئيسة وترتفع درجة حرارته، بينما تتمدد طبقاته الخارجية. ويصبح النجم عملاقاً أحمر، ذا قلب خامل يتكون من الهليوم ويحيط به غلاف يستمر «احتراق» الهيدروجين فيه.

ويتحرك النجم إلى اليمين وإلى أعلى، بعيداً عن السلسلة الرئيسية في رسم H-R التخطيطي وبموازاة فرع العملاق الأحمر. وعند قمة فرع العملاق الأحمر، يصبح القلب ساخناً جداً إلى درجة تصلح لبدء الاحتراق النووي داخل القلب المكون من الهليوم. وهو ما يجعل القلب نفسه يتمدد، ويحرك بذلك غلاف الهيدروجين المحترق إلى منطقة أبرد في النجم؛ الأمر الذي يؤدي إلى خفض شدة احتراق الهيدروجين. والتأثير المشترك لذلك هو إزاحة النجم، بشكل مفاجئ، إلى الفرع الأفقي، حيث يبقى هناك، بينما يستمر احتراق الهليوم في قلبه واحتراق الهيدروجين في غلاف خارج القلب. وعندما يتحول كل الهليوم في القلب إلى كربون (وربما بعض الأكسجين أيضاً)، ينكمش الجزء الداخلى من النجم مرة أخرى، بينما تتمدد طبقاته الخارجية. ويتم احتراق الهليوم في غلاف حول قلب الكربون، بينما تستمر عملية احتراق الهيدروجين ولكن في غلاف أكثر بعداً عن القلب. ويصبح النجم عملاقاً أحمر مرة أخرى، عند قمة نهاية فرع العملاق الأحمر «فرع العملاق المُقارب». وبعد مرور النجم العملاق بسلسلة تطورات تشبه المغامرات؛ حيث يفقد جزءاً كبيراً من كتلته، وينفجر فعلاً في الفضاء، ينكمش ما تبقى على نفسه ويتحرك إلى أسفل في جزء القزم الأبيض من رسم H-R التخطيطي.

والتوصل إلى ذلك كان ثمرة جهود بطولية بذلتها أجيال من علماء الفلك. هناك سمة أساسية واحدة لها أهمية خاصة بالنسبة للقصة التي يجب أن أقولها هنا. إن عدداً أكبر من النجوم الضخمة يقع قرب قمة السلسلة الرئيسية، وعدد أكبر أيضاً من النجوم الضخمة يجرى بسرعة أكبر عبر دورات حياته. وعندما تشيخ مجموعة من النجوم التي وُلدت معاً، فإن النقطة التي ينتهي عندها رسم H-R التخطيطي بالنسبة لهذه المجموعة بعيداً عن السلسلة الرئيسية، تتحرك أسفل هذه السلسلة من أعلى اليسار إلى أسفل اليمين. ومن ثم فإن النقطة التي تنتهي عندها السلسلة الرئيسية بعيداً نحو فرع العملاق الأحمر تحدد لنا عمر هذه المجموعة من النجوم. إن رسوم H-R التخطيطية الخاصة بالتجمعات الكروية، مثل شكل (٣-٥)، توفر لنا أفضل قياس لعمر النجوم. وبالإضافة إلى ذلك، فقد ثبت أن التجمعات الكروية هي أقدم نجوم في مجرتنا، وأنها تكونت عندما تفتقت المجرة ذاتها من سحابة ضخمة من الهيدروجين والهليوم، وأمسكت بها قوة جاذبية سحابة من الويمبات أكبر حجماً وكتلة. لكن هناك

مشكلة، وهى أن أعمار أقدم النجوم فى المجرة، والتى تم استنتاجها من نقاط انحراف السلسلة الرئيسية، قريبة جداً، بشكل لا يبعث على الارتياح، من العمر الذى قدره علماء الكونيات للمكون ككل. ومن ثم، يكون من الصعب بعد حدوث الانفجار العظيم، توافر أى وقت للويميّات لتقوم بجذب سحب الغاز معاً لتكوين مجرات بدائية، كما يصعب توافر أى وقت لبعض الغاز، فى إحدى هذه المجرات البدائية على الأقل، مجرتنا مثلاً، لتكوين النجوم الأولى. غير أن تأثير الويميّات «داخل» هذه النجوم، يؤدى إلى تخفيف الحرج الذى تسببه هذه المشكلة لعلماء الفلك.

روابط الويميّ

إن أعمار المجموعات الكروية، التى تحددت من خلال مقارنة نقاط انحراف السلسلة الرئيسية مع نماذج الكمبيوتر القياسية لكيفية عمل النجوم، تتراوح بين ١٣ مليار و ١٩ مليار عام. وذلك لا يعبر عن مدى الأعمار الحقيقية، نظراً للاعتقاد بأن كل المجموعات الكروية قد تكونت معاً عندما ولدت المجرة. إن هذا المدى الممتد هو بالأحرى مقياس لعدم اليقين المتبقى فى التقنية، مع اعتبار أن أفضل رهان لعمر أقدم النجوم فى مجرتنا هو ١٦ مليار عام. ولا يمكن قياس عمر الكون (الزمن الذى انقضى منذ الانفجار العظيم) بشكل مباشر، ويعتمد العمر المستنتج على نظريات تفصيلية لكيفية تطور الكون. ويتراوح عمر الكون، طبقاً لأفضل الأدلة، بين ١٥ مليار و ١٨ مليار عام، وربما كان أقرب إلى ١٥ مليار منه إلى ١٨ مليار. ويستحيل بالطبع أن يكون لديك نجوم عمرها ١٩ مليار عام فى كون عمره ١٥ مليار عام فقط (لو أخذنا التقديرين الأكثر تضارباً)، وحتى القيمة المتوسطة لكل مدى والتى تعطى النجوم عمر ١٦ مليار عام فى كون عمره ١٦,٥ مليار عام تمثل إخراجاً لعلماء الفلك، الذين ليس بمقدورهم معرفة كيفية تكون مجرات بعد الانفجار العظيم بـ ٥٠٠ مليون عام فقط.

إن الويميّات تغير الصورة، لأنها تغير المعدل الذى تشيخ به النجوم مثل الشمس. والمثير للاهتمام، أن تأثير الويميّات غير ذى أهمية إلا بالنسبة لنجوم لها كتلة مثل كتلة شمسنا تقريباً. إن النجوم الأكبر حجماً وكتلة تلتقط كل عام عدداً من الويميّات يزيد عما تلتقطه شمسنا، لأن قوة جاذبيتها الأكثر قوة تجذب الجسيمات من مدى أوسع. لكن النجوم الأكثر ضخامة لا تعيش طويلاً بما يكفى بحيث تجمع عدداً كبيراً من

الويميّات، بالرغم من أن قوة جاذبيتها الكبيرة تسمح لها بذلك. أما النجوم الأقل حجماً من شمسنا فإنها، على النقيض، برغم توافر الوقت الكافى لديها لجمع الويميّات، فإنها تجمعها ببطء أكبر نتيجة لأن قوة جاذبيتها ضعيفة. وتراكم الويميّات فى قلوب النجوم ذات الكتلة الصغيرة يؤثر بفاعلية على سلوكها فى آخر الأمر - لكن عمر المجرة كبير بما يتيح الفرصة لتراكم كمية من الويميّات تكفى للقيام بذلك الآن.

ويمكن تحديد الكيفية التى يؤثر بها وجود الويميّات فى قلب النجوم على تطور نجم مثل الشمس، بإضافة تأثير الويميّات إلى تلك النماذج القياسية التى ينتجها الكمبيوتر والخاصة بتطور النجوم. وتبين الحسابات أن عمر النجم عندما يترك السلسلة الرئيسة يكون «أقل» من العمر الذى يترك عنده السلسلة الرئيسة نجم مماثل قلبه خالٍ من الويميّات . بمعنى آخر، إذا كان التجمع الكروى للنجوم يحتوى ويميات، فيجب مراجعة كل الأعمار التى تم استنتاجها من خلال قياس نقاط الانحراف عن السلسلة الرئيسة فى رسم H - R التخطيضى، بحيث يتم تخفيضها. إن التأثير طفيف، لكن كما قال روجر تايلور فى محاضرتة فإن «المشكلات المتصلة بأعمار تجمعات النجوم قد تصبح أيسر إذا كانت نجومها تحتوى على ويميات». إن فولكنر مسرور بحذر (مجرد حذر فقط) من اكتشافه لكيفية عمل هذا التأثير. لقد أخبرنى أن أكبر تأثير يمكن إحداثه بنماذج واقعية للويميّ هو خفض الأعمار بنسبة ١٥٪ تقريباً؛ مما يخفض العمر «القياسى» من ١٦ مليار عام إلى حوالى ١٣,٦ مليار عام. وأضاف، أن الويميّات يمكنها أن تحول الإحراج المتواضع إلى اتفاق متواضع. وبالطبع، إنها تسير فى الاتجاه الصحيح (حمداً لله!).

إن ذلك يمثل النقطة المهمة بالطبع. فلو سببت الويميّات إحراجاً أكبر لكان ذلك بمثابة لطمة كبرى للنظرية، مع التلميح بقوة إلى أن مثل هذه الجسيمات قد لا يكون لها وجود إطلاقاً، وأن على علماء الفيزياء الفلكية أن يجدوا حلاً آخر لمشكلة النيوتريـنو الشمسى. ولقد طرح بعض علماء الفلك مثل هذا الاقتراح بالفعل، واستندوا فى حججهم على دراسة قاموا بها لنجوم الفرع الأفقى. لكن فولكنر الذى اكتسب مكانته بمباحث باكتشافه كيفية عمل نجوم الفرع الأفقى، أجاب عليهم بمعاصفة مضادة أثارت التشكك فى قيمة هذا النقد، حتى الآن على الأقل.

وتعتمد هذه المحاولة لضرب الويمپ على الطريقة التى تجعل وجوده فى قلب النجم سبباً لتلطيف الحرارة فى ذلك القلب (بحيث يصبح مُتَحَارِراً، أى متساوى الحرارة). ففى النماذج القياسية لنجوم الفرع الأفقى - وكان فولكنر رائداً لهذا المجال فى الستينيات من القرن العشرين - يكون قلب النجم، حيث يتحول الهليوم إلى كربون، منطقة حِمْل حرارى. إن درجة الحرارة فى قلب النجم تكون أعلى بكثير منها عند حافة منطقة احتراق الهليوم؛ مما يؤدى إلى دوران مادة القلب بواسطة الحمل الحرارى. وأحد الآثار التى تنجم عن ذلك هو سحب هليوم طازج إلى مركز النجم من المنطقة التى تقع مباشرة خارج القلب، بالمعنى الضيق للكلمة، لتزود هذا الطور من حياته بوقود نووى إضافى. أما إذا كانت الويمپات موجودة وخفضت درجات الحرارة وصولاً إلى قلب مُتَحَارِر (متساوى الحرارة)، فسيتم إيقاف الحِمْل الحرارى. وفى هذه الحالة، سيحترق الهليوم الموجود فقط فى قلب المركز، ولن يأتى هليوم إضافى إلى قلب النجم بواسطة الحمل الحرارى. وينتج عن ذلك أن يكون هذا الطور من حياة النجم قصير الأجل، وبمجرد أن يحترق الجزء الداخلى من قلب النجم المتكون من الهليوم، ينتقل النجم سريعاً من الفرع الأفقى وبموازاة الفرع العملاق المقارب. إن التأثير الكلى لهذه العملية عند تطبيقها على أفراد تجمع كروى هو تقليل عدد نجوم الفرع الأفقى التى يمكن رؤيتها فى أى وقت، مقارنة مع عدد نجوم الفرع المقارب. غير أننا نرى بالفعل فى التجمعات الكروية نسبة من نجوم الفرع الأفقى أعلى مما يمكن تفسيره لو تم إيقاف الحمل الحرارى فى القلب.

وكان رد فولكنر على ذلك (والذى قدمه بالتعاون مع دافيد سبرجل) إن إيقاف الحمل الحرارى فى القلب يؤدى بالفعل إلى خفض الزمن الذى تقضيه نجوم التجمع الكروى على الفرع الأفقى، غير أن الحمل الحرارى، فى الواقع، لا يتوقف. إن التغيرات التى تحدث داخل النجم أثناء تطوره، بعد أن يغادر السلسلة الرئيسة ويصعد إلى فرع العملاق الأحمر ثم يهبط بعد ذلك إلى الفرع الأفقى، تجعل من غير المحتمل أن تكون هناك أى ويمپات متخلفة فى القلب وقت بلوغ النجم الفرع الأفقى. وحتى لو تبقت أى ويمپات بعد انفجار الطاقة عند اشتعال القلب المتكون من الهليوم «وهج الهليوم» وتفادت أن يُعَصَف بها فى الفضاء، فإن العديد من هذه الويمپات، فى ظل الظروف المتغيرة فى قلب النجم، سوف تتحرك بسرعة أكبر من سرعة الهروب المناسبة الجديدة. إن

الويميّات «ستتبخّر» هاربة من القلب إلى خارج النجم حيث الفضاء - فى زمن يصل إلى مائة عام إذا كانت كتلتها حوالى خمسة أضعاف كتلة البروتون، وفى زمن أطول من ذلك إذا كانت كتلتها أكبر. أما الويميّات التى تتجاوز كتلتها ثمانية أضعاف كتلة البروتون، فهى أماكنها البقاء فى قلب نجم الفرع الأفقى لفترة أطول بكثير - لكنها تتماسك معاً بإحكام بحيث لا تشغل سوى أعماق أجزاء القلب الداخلى للنجم، وتترك مجالاً واسعاً للحمل الحرارى لكى يحدث فى المنطقة التى تقع خارج نطاق تأثيرها مباشرة.

إن هذه الحجج عن تأثير الويميّات على نجوم الفرع الأفقى ظهرت على السطح فى عام ١٩٨٨ فقط، ومن المؤكد أن هناك المزيد من الأدلة والأدلة المضادة بين أنصار كل رأى فى الجدل الدائر بينما يجرى طبع هذا الكتاب، والذى سيستمر فى السنوات المقبلة. إن نقطة الخلاف دقيقة، وقد لا تُحل قط بما يرضى الجميع. لكن من المفيد الإشارة هنا إلى هذا الخلاف، بسبب الاقتراح القائل بأن كتل الويميّات يجب أن تقع عند النهاية الدنيا للمدى الذى افترضته الحسابات الأصلية. غير أن علماء الكونيات يفضلون أن تكون كتلة الويميّ حوالى عشرة أضعاف كتلة البروتون، حتى يمكنه توفير كل المادة المعتمدة فى شكل واحد، لكن لا يوجد فى الواقع سبب يمنع أن تكون كتلة الويميّ نصف تلك الكتلة، بحيث تكون نصف المادة المعتمدة فى شكل آخر. إن أجمل تنبؤ لنموذج الويميّ، والذى تدعمه حالياً عمليات رصد للشمس ذاتها، يؤيد أيضاً أن تكون كتلة الويميّ عند النهاية الدنيا للمدى، أى حوالى خمسة أضعاف كتلة البروتون.

سنعرض للمزيد عن هذا الموضوع فى الفصل السابع. لكننى لا أريد لكم التسرع فى استنتاج أن الدراسات الوحيدة التى كشفت عن الجديد والمثير بالنسبة للشمس فى الثمانينيات من القرن العشرين، تدور كلها حول فكرة الويميّ فقط. فبينما كانت نظرية الويميّ تذبل تحت كومة من الأوراق فى مكتب فولكنر بسانتاكروز، وحتى بعد أن منحها سبرجل وپرس قبلة الحياة، كان هناك كمٌ ضخم من الأبحاث الأخرى تحاول أن تسبر أسرار الشمس. وأكثر هذه الأبحاث إثارة، كما سنرى فى الفصل السابع، ينتهى لأن يكون وثيق الصلة بقصة الويميّ (رغم أن السبب الأصلى لإجراء هذه الأبحاث ليس الويميّ)، وتشير هذه الأبحاث، بشكل غير مسبوق، إلى كيفية فهم أعماق الشمس على نحو أكثر تفصيلاً فى التسعينيات. ويتبقى قبل التحرك نحو نهاية قصة الدراسات الخاصة بالشمس حتى الوقت الراهن، أن نذكر شيئاً آخر لا يجوز إغفاله عن الطبقات الخارجية

لجارتنا النجم، وكيف يمكن أن تؤثر التغيرات في هذه الطبقات على حياتنا في الأرض. لكن هناك أيضاً ارتباطاً مع قصة الويمپ الزاخرة بالأحداث - أو على الأقل مع أحد المشاركين في تلك القصة. ولو كنتم تتساءلون عما كان رون جيليلند يفعل في مرصده ببولدر طوال الفترة التي كانت نظرية الويمپ تذبل فيها، فقد حانت الفرصة لكم لتعرفوا الإجابة.

الفصل السادس

الشمس تتنفس

كانت الأبحاث التي قام بها جيليلند عندما ترك سانتاكروز تدور أيضاً حول الشمس - لكنه في بدايات الثمانينيات من القرن العشرين كان أشد اهتماماً بما يجري في الطبقات الخارجية للشمس، وليس بالأسرار المكنونة في أعماقها. فبعد أن أكمل دراساته العليا في كاليفورنيا ذهب جيليلند إلى بولدر بكتلورادو، حيث أصبح (ولا يزال) عضواً في مرصد هاى التيتيود التابع للمركز القومي للأبحاث الجوية. وقد حدث ذلك في عام ١٩٧٩، وكان جون إدى (John Eddy) أحد كبار العلماء في المرصد، قد ادعى في ذلك الوقت أن الشمس تتقلص بشكل يمكن قياسه بمعدل ١ ٪ كل قرن، وكان هذا الادعاء يتصدر الأنباء. إن مثل هذا التغير المثير في قطر الشمس - وهو أسرع بكثير من أى شيء تصوره كلفن أو هلمهولتز - قد يكون بالطبع، نوعاً من الظاهرة قصيرة الأجل فقط، عبارة عن تقلب استمر ربما لعدة مئات من الأعوام. إن الانكماش بمعدل مترين «كل ساعة»، كما زعم إدى، يعنى أن الشمس قد تتلاشى بالكامل في أقل من مائة ألف عام. ولنطرح هذه الفرضية بشكل آخر كالتالى، لو أن الشمس انكمشت بذلك المعدل منذ عدة آلاف من الأعوام، لكانت الظروف على الأرض قد اختلفت اختلافاً جذرياً منذ عدة آلاف من السنوات. غير أن كل الأدلة الجيولوجية القديمة والمعتادة وتلك الخاصة بالنشوء والارتقاء تثبت ببساطة أن ذلك بعيد الاحتمال.

إذاً، ما الذى «كان» يجرى فى الشمس؛ وكان من الطبيعى أن يهتم جيليلند، الذى انضم فى ذلك الوقت الحافل بالإثارة إلى فريق علماء بولدر، بالقضية. وكان اهتمامه مفيداً بالفعل، حيث أثبت أن تغير الشمس ليس كبيراً بالدرجة التى اعتقدها إدى فى أول الأمر، وإن كان هذا التغير حقيقياً وكبيراً بما يكفى لتكون له تداعيات مهمة على الحياة فى الأرض. ولكن لوضع هذه الاكتشافات فى منظورها، يجب أن نعود مرة أخرى إلى اللغز الذى طرحه إدى عقب افتراض انكماش الشمس - وهو الحالة المحيرة لبقع الشمس (كَلَف الشمس) المفقودة.

انزعاج تثيره بقعة شمس أو اثنتان

عرف علماء الفلك، منذ عصر جاليليو فى أوائل القرن السابع عشر، أن بالشمس أوجه نقص، وأن بقعاً دكناء تمر أحياناً عبر وجهها. وحتى قبل جاليليو، كان راصدو السماء الصينيون واليونانيون يعرفون بقع الشمس، لكن مع ابتكار التلسكوب الفلكى بدأ عصر الرصد الحديث. لقد استطاع جاليليو وخلفاؤه، بإسقاط صورة للشمس خلال التلسكوب على شاشة بيضاء (بالطبع لا يُنظر قط إلى الشمس مباشرة من خلال التلسكوب)، مراقبة عمليات ذهاب وإياب هذه البقع الدكناء الغربية. لكن فى القرن التاسع عشر فقط أدرك علماء الفلك أن هذه البقع تأتى وتذهب بإيقاع شبه منتظم، ويبلغ طول دورتها حوالى أحد عشر عاماً. وفى الثمانينيات من القرن العشرين فقط تم ربط إيقاعات تغيرات بقع الشمس مع إيقاعات التغيرات فى حجم الشمس ذاتها، التى «تتنفس» إلى الداخل وإلى الخارج على مدى عقود وقرون.

ويتراوح قطر بقعة الشمس الواحدة ما بين ١٥٠٠ كيلومتر إلى معالم دكناء تمتد فى غير نظام أو اتساق عبر ١٥٠ ألف كيلومتر من جانب إلى آخر. وهى تحدث عادة فى مجموعات تتكون من عدة بقع شمسية تنتشر معاً على امتداد مئات الملايين من الكيلومترات المربعة من سطح الشمس. وتبدو هذه البقع دكناء بالمغايرة مع الخلفية النيرة لسطح الشمس لأنها باردة نسبياً. و «نسبياً» هى كلمة السر، لأن درجة حرارة سطح الشمس تبلغ حوالى ستة آلاف كلفن، بينما لا تتجاوز درجة حرارة المنطقة المركزية لبقعة الشمس وأكثرها دكانة أربعة آلاف كلفن، فيما تبلغ درجة حرارة المنطقة الأفتح من بقعة الشمس، وهى المنطقة الخارجية، حوالى ٥٥٠٠ كلفن.

ويعتقد علماء الفلك أن بقع الشمس هى مناطق قامت فيها مجالات مغناطيسية موضعية قوية بكبح مؤقت لتيارات الحمل الحرارى التى تحمل عادة المادة الساخنة من

طبقات الشمس الأعمق إلى أعلى، إلى سطح الشمس. إن المجالات المغناطيسية - التي نجح العلماء في قياسها، كما قاسوا درجة حرارة بقع الشمس، من خلال تحليل خطوط الطيف للضوء القادم من منطقة نشاط بقع الشمس - ترتبط دائماً بالطبع بمجموعات بقع الشمس، وتبدو البقع ذاتها مجرد التجلّي المرئى الأكثر وضوحاً لسلسلة كاملة من الأنشطة الشمسية. وتتضمن هذه الأنشطة: العواصف الهائلة، والانفجارات النارية التي ترسل السنة من مادة الشمس بعيداً في الفضاء. ويتنوع كل هذا النشاط عبر دورة النشاط الشمسى التي تمتد أحد عشر عاماً تقريباً، ابتداء من شمس هادئة إلى حالة نشطة لتعود إلى حالة الهدوء مرة أخرى. إن النموذج الكلى للتغيرات المغناطيسية في الشمس يستغرق اثنتين من هذه الدورات ليعود مرة أخرى إلى نقطة البداية - في الدورة التي تمتد أحد عشر عاماً يتبادل القطب الشمالى المغناطيسى والقطب الجنوبى المغناطيسى للشمس مكانيهما، ثم يتبادلان المواقع مرة أخرى في الدورة التالية، ليعود كل منهما إلى مكانه. لذلك يعتقد العديد من علماء الفيزياء الفلكية أن الدورة الأساسية للنشاط الشمسى هي «ضعف دورة بقع الشمس»، أى حوالى ٢٢ عاماً.

وتتبع كل دورة لبقع الشمس النموذج الكلى نفسه، وإن اختلفت التفاصيل من دورة إلى أخرى. وابتداء من النقطة الهادئة من الدورة، تظهر بقع شمسية قليلة عند خطوط عرض حوالى أربعين درجة (40°) شمال وجنوب خط الاستواء الشمسى. وخلال عشرة أيام، ينمو ويكبر حجم كل مجموعة من بقع الشمس، ثم تضمحل ببطء خلال ما يقرب من شهر. ومع نمو الدورة الشمسية، يزداد عدد مجموعات البقع التي تتكون، ويكون تكوّنها أقرب باطراد لخط الاستواء، بحيث تتركز أثناء ذروة النشاط الشمسى قرب خطى عرض 10° شمال و 10° جنوب خط الاستواء.

ومع أن هذا النموذج منتظم ويمكن التنبؤ به إلى مدى معين، إلا أننا لا نعرف بالضبط العمليات التي تتم داخل الشمس وتقود الدورة الشمسية. ويقضى أفضل تفسير بأن خطوط القوة المغناطيسية تضيق، وأن دوران الشمس يجعلها تلتف وتجذب مجموعات بقع الشمس نحو خط الاستواء. لكن مهمة واضع النظريات الذى يحاول تفسير السلوك الدقيق لبقع الشمس والدورة الشمسية بشكل عام لم تعد سهلة؛ لأن الدورات الفردية تختلف فيما بينها ليس في طولها فقط، وإنما في قوتها أيضاً. وقد لا تمتد بعض الدورات لأطول من تسعة أعوام، تُقاس من الحد الأدنى إلى الحد الأدنى،

بينما يمتد البعض الآخر لحوالى أربعة عشر عاماً. ولأن هذه الحالات القصوى نادرة فإن المتوسط هو أحد عشر عاماً فقط لدورة بقع الشمس. وفى بعض الأحيان، يكون عدد بقع الشمس قليلاً حتى فى سنوات النشاط الأقصى، وفى دورات أخرى تتكون مئات من البقع أثناء سنوات ذروة بقع الشمس.

وجتى بدون معرفة كيفية عمل الدورة بالتفصيل، لفت بعض الباحثين الانتباه إلى علاقات ظاهرية بين نشاط الشمس، قياساً ببقع الشمس، والمناخ على الأرض. ويمكن قياس نشاط الشمس بواسطة مؤشر يُسمى رقم بقع الشمس، وهو يرتبط بالمساحة من قرص الشمس المرئى المغطاة بالبقع الدكناء، وعادة ما يتم أخذ متوسط هذه المساحة خلال شهر أو عام. وعندما يكون رقم بقع الشمس يساوى مائة على هذا المقياس، فإن ذلك لا يعنى أن هناك مائة بقعة فردية على قرص الشمس، ولكن هذا الرقم يعطينا مساحة القرص المغطاة ببقع الشمس - فى هذا المقياس، يطابق رقم مائة ذروة قوية وجيدة، بينما يُعد أى رقم يزيد على مائة وخمسين من قبيل الاستثناء، وفى السنوات الهادئة من دورة الشمس ينخفض رقم بقع الشمس إلى أرقام أحادية ويصل إلى الصفر فى بعض الأحيان.

ومن الأسباب التى جعلت علماء الفلك يستغرقون وقتاً طويلاً لملاحظة أن هناك دورة لبقع الشمس مدتها أحد عشر عاماً، أنه فى العقود التى تلت مشاهدات جاليليو للشمس كان عدد بقع الشمس التى يمكن رؤيتها قليلاً جداً. ولجزء كبير من القرن بدت الشمس وكأنها تجرب فترة ممتدة من الحد الأدنى للنشاط، وبالطبع لم يكن بإمكان أحد فى ذلك الوقت أن يدرك أن ذلك أمر غير عادى. لقد ازداد نشاط بقع الشمس بشكل عام بعد عام ١٧١٥، وبحلول منتصف القرن التاسع عشر كان لدى علماء الفلك مشاهدات كافية لملاحظة الدورة التى تمتد أحد عشر عاماً، وكان هنريك شواب (Heinrich Schwabe) أول من ذكرها (كدورة عشر سنوات)، ثم راجعها بالتفصيل رودلف وولف (Rudolf Wolff) الذى أوضح أنها استمرت منذ أوائل القرن الثامن عشر. ما الذى حدث فى القرن السابع عشر؟ فى الثمانينيات والتسعينيات من القرن التاسع عشر، قام كل من جوستاف سپورير (Gustav Spörer)، الباحث الألمانى الذى كان مقيماً فى بوتسدام، ووالتر موندر (Walter Munder)، الذى كان يعمل فى مرصد جرينتش الملكى فى لندن، بنشر نتائج دراستهما للسجلات القديمة، التى بينت وجود

عدد قليل جداً من بقع الشمس فى الفترة ما بين عامى ١٦٤٥ و ١٧١٥. وواصل موندر محاولته لإقناع زملائه بأهمية هذا الاكتشاف، حتى وفاته عام ١٩٢٨. ولم يهتم علماء الفلك كثيراً بذلك الاكتشاف، مفضلين الاعتقاد بأن ذلك خطأ ارتكبه علماء القرن السابع عشر الذين فشلوا فى ملاحظة بقع الشمس أو تسجيلها، بدلاً من أن يكون الخطأ من الشمس، التى فشلت فى إنتاج أية بقع شمسية. كان الافتراض الأسهل هو أن علماء الفلك فى القرون السابقة (الذين توفوا ولا يستطيعون الرد) كانوا غير أكفاء، بدلاً من الاعتقاد بأن الشمس متغيرة ولا تتسم بالكمال. لكن بعض علماء المناخ والكتّاب الذين يبسطون العلوم تبنا فكرة ندرة بقع الشمس فى القرن السابع عشر، وكانت ادعاءاتهم هى التى جذبت إدى إلى الجدل الذى دار فى السبعينيات من القرن العشرين.

حتى وقت قريب جداً، كانت فكرة تغير مناخ الأرض طبقاً لمقياس زمنى من العقود والقرون تبدو مضحكة لعلماء المناخ، مثلما كان مفهوم تغير الشمس طبقاً للمقياس الزمنى نفسه يبدو مضحكاً لعلماء الفلك. لقد كان المناخ يُعتبر ببساطة نوعاً من «الطقس المتوسط»، الذى قد يعانى من تقلبات عشوائية، بحيث يكون عام أو عقد من الزمن أكثر برودة أو حرارة من غيره، لكن المناخ فى الحقيقة لا يتغير كثيراً من قرن إلى آخر. غير أن هذه الفكرة بدأت تفقد تأثيرها مع تقدم القرن العشرين، لقد أدرك علماء المناخ والتاريخ أن الطقس فى الثلاثينيات والأربعينيات من القرن العشرين كان أدفأ بشكل واضح عنه فى القرن التاسع عشر. وقد شجع انخفاض درجة الحرارة الذى اجتاحت نصف الكرة الشمالى فى الخمسينيات والستينيات من القرن العشرين على المزيد من الاهتمام بالتغير المناخى، وقاد إلى بعض القصص المرعبة عن عصر جليدى جديد قادم. ولكن دراسات التغيرات المناخية فى الأزمنة التاريخية أصبحت محل احترام بفضل الجهود الرائدة التى قام بها هوبرت لَمْب (Hubert Lamb) مع مكتب الأرصاد بلندن فى أول الأمر، ثم فى جامعة إيست أنجليا بعد ذلك.

وقد أوضحت هذه الدراسات، من بين العديد من السمات المثيرة الأخرى، أن القرن السابع عشر شهد أشد العقود برودة حتى إنها تُعرف الآن باسم العصر الجليدى الصغير. لقد تجمدت الأنهار والبحيرات فى الشتاء على امتداد أوروبا بدرجة لم يسبق لها مثيل، وتعدّر نمو محاصيل عديدة فى المناطق الشمالية من أوروبا التى يمكن أن تنمو فيها هذه المحاصيل حالياً، وامتد البحر الجليدى من القطب الشمالى إلى الجنوب

بشكل كبير لم يره أحد من الأحياء الآن. وعندما واجه بعض علماء المناخ حقيقة أن العالم كان أبرد في القرن السابع عشر عنه حالياً، مع افتقادهم لأى تفسير لذلك، افترضوا أن إنتاج الشمس من الحرارة كان أضعف حينذاك، وأشاروا إلى حقيقة الغياب الطويل لبقع الشمس، والذي حدث وقت العصر الجليدى الصغير نفسه، وأصبح معروفاً الآن «بحد موندر الأدنى» اعترافاً بفضل عالم الفلك الذى حاول بقوة أن يشد الانتباه لذلك.

لكن علماء المناخ كانوا بالطبع لا يعرفون شيئاً عن عمل الشمس، ورفض علماء الفيزياء الفلكية ادعاءاتهم بوجود ارتباط بين بقع الشمس والطقس واعتبروا أنها تثير الضحك. ولا تزال هذه الادعاءات قائمة، رغم أنها لم تثبت، وإن لم يدحضها أحد أيضاً، مثل هيكل عظمى فى خزانة الفيزياء الشمسية. ولم يكن هناك من يعرف على وجه اليقين هل حد موندر الأدنى حقيقة أم لا. وفى السبعينيات من القرن العشرين، شغلت كل هذه الأمور إدى بدرجة كبيرة، والذي قال للصحفى سام بليكر فيما بعد: «لقد أزعجتنى تلك الإشارات العارضة لبقع الشمس وربطها بتغير متزامن فى مناخ العالم. وتملكنى كعالم متخصص فى الفلك الشمسى يقين باستحالة حدوث ذلك، كما أن اهتمامى بالتاريخ جعل إمكانية مضاهاة تأكيدات موندر أمراً يروق لى». وتوقع إدى أن يجد موندر (وسبورير) على خطأ، وأن مضاهاة دقيقة للسجلات التاريخية سوف تبين أنه لم يكن هناك من احتفظ بسجلات سليمة للنشاط الشمسى حينذاك، وليس عدم وجود بقع شمسية فى أواخر القرن السابع عشر. وسرعان ما اكتشف أنه كان مخطئاً.

وقد أخذت عملية البحث إدى إلى صفحات طويلة من صحف لم تُقرأ منذ مدة طويلة فى الأركان المتربة للمكتبات الفلكية، وإلى أوروبا ومرصد جرينتش الملكى بحثاً عن مخطوطات قديمة.. وكان ما خرج به إدى هو تذكيره بأن علماء العصر الحديث ليسوا أكثر ذكاء أو مثابرة من أسلافهم، ولكنهم فقط أفضل تسليحاً بالأدوات والمعدات والتكنولوجيا. لقد كان علماء الفلك فى القرن السابع عشر مهتمين بالطبع بدراسة الشمس - حيث أثار اكتشاف جاليليو لبقع الشمس اهتماماً علمياً هائلاً. كما أن تسجيلات المشاهدات التى أُجريت فى ذلك الوقت للكواكب ولحلقات كوكب زحل قد أوضحت أيضاً مدى مهارة المراقبين، وكيف سجلوا مشاهداتهم ومراقباتهم بدقة بالغة - وأدرك إدى ألا مجال للشك فى أن المهارة اللازمة لدراسة بقع الشمس لم تكن تنقصهم.

ولكن هل كان لديهم الميل لذلك؟ وهنا أيضاً تحطمت توقعاته. لقد وجد أن العديد من المراقبين قاموا بعمليات رصد منتظمة للشمس عبر فترة «حد موندرا الأدنى»، وبحثوا بشكل خاص عن البقع الدكناء، واحتفظوا بسجلات لما عثروا عليه (أو لعدم عثورهم على شيء) تضمنت كل التفاصيل وبنفس الدقة التي احتفظوا بها بسجلات رصد الكواكب. ونظراً لأن بقع الشمس كانت نادرة في القرن السابع، كان اكتشاف إحداها يملأ المراقب زهواً وهو يخبر زملاءه بذلك، وقد يحقق له هذا الاكتشاف قدراً متواضعاً من الشهرة. كان هناك تلهف للبحث عن بقع الشمس والعتور عليها أثناء عقود فترة «حد موندرا الأدنى»، لكنها لم تكن موجودة حتى يمكن رؤيتها - لمدة بلغت ٢٢ عاماً، لم تُرصد بقعة شمس واحدة في النصف الشمالي للشمس. وطوال سبعين عاماً امتدت من ١٦٤٥ إلى ١٧١٥، لم يشاهد أكثر من مجموعة صغيرة واحدة من البقع الشمسية في كل مرة.

إن إدى الذى انطلق ليطيح بأسطورة ارتباط مناخ العالم بنشاط بقع الشمس، نجح بالفعل في ترسيخ الارتباط بينهما. لقد استمر في تطوير البحث بالنظر إلى أزمنة بعد، واستخدم في ذلك تقنيات أخرى مثل سجلات النشاط الشفقي في سماء كوكب لأرض (المعروف أن النشاط الشمسي مسبب له)، وقياسات آثار الكربون المشع في حلقات الأشجار القديمة (المعروف أن سببها جسيمات الأشعة الكونية القادمة من الشمس)؛ وذلك لكي يثبت أن الارتباط بين المناخ والنشاط الشمسي ليس حقيقياً فقط، وإنما يرجع إلى ما قبل زمن المسيح. إن العالم يصبح أبرد عندما تكون الشمس هادئة - أى حين يوجد القليل من بقع الشمس لعقود متتالية من الزمن، وحتى ذروات دورة نشاط الشمس تكون منخفضة.

ولُخصت الأدلة في اجتماع عقده الجمعية الملكية في لندن في فبراير ١٩٨٩. لقد اختزن خشب الأشجار (الحية أو الميتة) سجلات نشاط الشمس الذي يرجع إلى ما قبل بداية الرصد الفلكي الحديث لبقع الشمس بكثير، وذلك في شكل ذرات كربون - ١٤ المشع. وينتج الكربون - ١٤ من تفاعل الأشعة الكونية مع ذرات النيتروجين في الغلاف الجوي، وتأخذ الأشجار الحية بعض ذرات هذا الكربون المشع وتخترنها في خشب حلقات نموها السنوي. ويمكن عن طريق عد هذه الحلقات الخشبية من الخارج إلى الداخل تحديد تاريخها ببساطة، كما يمكن قياس نسبة الكربون - ١٤ في كل حلقة. وبمقارنة محتوى الحلقات من الكربون المشع الذي اختزن عبر القرنين الماضيين مع

السجلات الفلكية لنشاط الشمس، أمكن إثبات أن كمية الكربون - ١٤ التى يتم اختزانها كل عام ترتبط بشكل مباشر بمستوى نشاط الشمس.

وخاطب شارلز سونت (Charles Sonett)، الباحث بجامعة أريزونا، الحاضرين قائلاً إن هناك دورة تسيطر على تسجيل الأشجار لنشاط الشمس، وإن طول هذه الدورة مائتا عام. ولقد ظهرت دورة المائتى عام فى سمك الحلقات ذاتها. تميل الحلقات إلى أن تكون أكثر ضيقاً كل قرنين؛ مما يشير إلى أن الأشجار تعاني نوعاً من الضغط والإجهاد. ويفترض النموذج أنه كان يوجد أكثر من عصر جليدى صغير وليس عصرًا واحدًا، مع انخفاض نشاط الشمس وكون الطقس يصبح أكثر برودة كل قرنين من الزمان.

فى الحقيقة، ظل سونت يردد ذلك لسنوات طويلة، قبل اجتماع الجمعية الملكية فى فبراير ١٩٨٩. ورغم أن إدى شرع فى دحض هذا الافتراض، إلا أن البحث الذى أعده إدى، هو دون غيره الذى جعل الدراسات التى قام بها سونت تحظى جالياً بالاحترام الكافى. لماذا؟

الشمس المنكمشة

ونتيجة لاهتمامه بسجلات بقع الشمس القديمة، علم إدى بوجود مجموعة أخرى من المشاهدات الشمسية تبعث على الحيرة، قام بها المرصد الملكى بجرينتش. فمنذ عام ١٧٥٠، كان علماء الفلك فى المرصد يسجلون يومياً قياسات لحجم الشمس (كان الطقس يسمح بذلك). وكانت عمليات الرصد تجرى بأداة تُسمى تلسكوب العبور، الذى يُركب بحيث يمكنه التأرجح إلى «أعلى وأسفل» على امتداد خط شمال - جنوب، ولكنه لا يستطيع التحرك من جانب إلى آخر. وهذه الأداة بالذات هى التى تحدد، بناءً على اتفاق دولى، خط الزوال الصفرى. ويُعتبر خط الشمال - الجنوب عبر التلسكوب هو دائرة خط زوال جرينتش، التى يُحدد من خلالها خطوط الطول، بينما يحدد مرور الشمس مباشرة عبر التلسكوب وقت الظهيرة، توقيت جرينتش المتوسط. ومع أن السجلات الخاصة بقياسات قطر الشمس لم تبدأ إلا بعد «حد موندر الأدنى»، فإن إدى ظل فضولياً بالنسبة لها. وخلال زيارة عمل لمركز هارفارد - سميثسونيان للفيزياء الفلكية، فحص إدى السجلات مع أران بورنازيان (Aran Boornazian)، ورأى على الفور أن هناك اتجاهًا مستمرًا إلى الانخفاض فى قياسات قطر الشمس - وعند أخذ القيمة الظاهرية، فإن السجلات تقضى بأن الشمس تنكمش بشكل مثير.

فى البداية، لم يصدق العالمان ما رأياه. وافترضوا افتقار قياسات علماء الفلك السابقين إلى الدقة، لأنهم كانوا يفتقرون إلى الساعات الحديثة وأدوات القياس الدقيقة. لكن عندما درس إدى وبورنازيان نُسخًا من سجلات مماثلة فى مرصد البحرية الأمريكية بواشنطن، وجدا نفس الاتجاه. إن علماء الفلك على جانبى الأطلنطى، قاموا بنفس نوع المشاهدات على امتداد القرنين التاسع عشر والعشرين، وتوصلوا إلى أرقام متماثلة تفترض انكماشاً سريعاً للشمس. وأصبح واضحاً أن هناك شيئاً ما كان «يحدث». وبالتالي عاد إدى وبورنازيان إلى السجلات واستخرجوا منها المعلومات الدالة على انكماش الشمس، ورغم زعر العديد من زملائهما قاما بنشرها.

من المهم تقييم وتقدير كيفية إجراء هذه القياسات، على نحو دقيق؛ لما لذلك من تأثير حاسم على الحجج التى أُثيرت عن مدى الثقة فى تلك المشاهدات. لقد كان المراقبون الأوائل يحددون قطر الشمس بقياس الزمن الذى يستغرقه مرور صورة الشمس عبر شعرة التعامد فى بؤرة العدسة العينية للتلسكوب، عند انتقال الشمس من الشرق إلى الغرب فى السماء بسبب دوران الأرض. كانوا يبدءون بالعد عندما تلمس حافة الشمس شعرة التعامد ويتوقفون عندما يتركها الجانب الآخر من الشمس. لكن المراقبين الأوائل لم يكن لديهم بالطبع ساعات توقيت أو ساعات رقمية لمساعدتهم فى هذه المهمة. وبدلاً من ذلك، كان عليهم عد دقائق ساعة بندولية عند مرور صورة الشمس عبر شعرة التعامد؛ مما يعنى أن قياساتهم لا يمكن أن تكون بالدقة التى تتميز بها القياسات الحديثة. ومن ثم اعتمد إدى وبورنازيان أساساً على السجلات ابتداء من عام ١٨٤٥، عندما زود المرصد بنظام توقيت أكثر دقة (الكرونوغراف^(*)). وتواصلت السجلات المستمرة حتى عام ١٩٥٤ عندما انتقل المرصد من لندن إلى هيرستمنسو، فى سوسكى، وتوقفت عمليات رصد قطر الشمس يومياً من جرينتش.

وكانت هذه المجموعات من المشاهدات، بجانب بيانات مرصد البحرية الأمريكية، هى التى أدت إلى ادعاء أن الشمس تنكمش بمعدل ١٥٠٠ كيلومتر تقريباً فى القرن الواحد - وهو جزء كبير من قطرها البالغ ١,٣٩٢,٠٠٠ كيلومتر. وبمقياس الزاوية التى تكونها الشمس فى السماء، والتى تبلغ حوالى ٢٢ دقيقة من الدائرة التى تمثل مسارها

(*) أداة لقياس الوقت وتسجيله. (المترجم).

الظاهري، فإن الانكماش المفترض يبلغ ثانيتين(*) فى كل قرن. إن الأمر يبدو مدهشاً، ولكن كان لدى إدى بعض الأدلة الأخرى لمساندة هذا الادعاء.

عندما يحدث كسوف للشمس بواسطة القمر، يحدث إظلام تام فى بعض الأحيان، وتبقى حلقة ضوء مرئية حول حافة القمر فى أحيان أخرى. ويحدث مثل هذا الكسوف الحلقي عندما يكون القمر فى مداره أبعد قليلاً من الأرض، بحيث يغطى أقل قليلاً من ٣٢ دقيقة، وهى الزاوية التى تكونها الشمس فى السماء، (وهى مصادفة مدهشة أن يبدو حجم القمر والشمس متماثلين عند رؤيتهما من الأرض). وفى عام ١٥٦٧، رصد عالم الفلك كريستوفر كلافيوس (Christopher Clavius) كسوفاً حلقياً من روما. لكن الحسابات الحديثة تفترض أن القمر كان قريباً جداً من الأرض وقتها بحيث يستحيل حدوث ذلك - «إلا إذا» كانت الشمس فى عام ١٥٦٧ أكبر قليلاً عنها حالياً!

هناك خلاف حول حقيقة ما رآه كلافيوس على وجه التحديد، وهل كان كسوفاً حلقياً بالفعل، أم أنه رأى فقط وهج ضوء قادم من الشمس ماراً عبر الوديان بين الجبال عند حافة القمر؟ للأسف، لم تكن هناك صور فوتوغرافية فى القرن السادس عشر لتخبرنا. وحتى لو كان كلافيوس قد رأى كسوفاً حلقياً، فإن ذلك لا يدل بدقة على حجم الشمس فى ذلك الوقت، ولكنه يعطى مجرد فكرة بأنها كانت أكبر منها حالياً. ورغم أنه دليل ظرفى وعرضى يدعم حالة سجلها تلسكوب العبور، فإن إدى وبورنازيان اعتبراه دليلاً مقنعاً.

لكن آخرين لم يقتنعوا. ورفض أغلب علماء الفلك ادعاءات فريق هارڤارد - سميثسونيان، بالرغم من هذا الدليل الموثق. وأشارت الانتقادات إلى أن عمليات الرصد التى تمت فى جرينتش (وتلك التى تمت بالفعل فى واشنطن) قام بها مجموعة من الفلكيين المختلفين، واستخدموا فى ذلك ساعات وتقنيات مختلفة. لقد شارك فى عمليات القياس فى جرينتش ستة مراقبين مختلفين فى كل عام، واستخدم كل منهم أفضل تقدير لديه لتحديد التوقيت الذى لمست حافة الشمس فيه شعرة تعامد التلسكوب. وعندما حسب باحثون آخرون متوسط قطر الشمس الذى حدده كل واحد من المراقبين الستة، وجدوا أنه حتى فى العام الواحد كانت الأرقام التى قدمها مراقبان مختلفان تختلف بأكثر من ألف كيلومتر.

(*) الثانية جزء من ستين جزءاً من الدقيقة الزاوية. (المترجم).

ولكن بقيت ورقة أخرى بحوزة إدى: إذ استخدم المراقبون السابقون تقنية أخرى بالإضافة إلى عد الزمن الذى تستغرقه الشمس لعبور شعرة تعامد التلسكوب. فبينما تكون صورة الشمس فى الظهيرة فى مجال الرؤية، يسارع أحد المراقبين إلى قياس القطر الرأسى للشمس، وهو المسافة بين القطبين: الشمالى والجنوبى عبر الصورة، ويُستخدم فى ذلك محدد قياس ميكرومترى يُستعمل مع التلسكوب لقياس الأبعاد والزوايا البالغة الصغر. وقد أوضحت هذه القياسات نوع التأثير نفسه الذى بينته القياسات الأفقية - وهو التناقص فى قطر الشمس - ولكنه بمقدار النصف، أى بمعدل ثانية واحدة تقريباً من الدائرة التى تمثل مسار الشمس الظاهرى فى كل قرن. افترض إدى، فى البداية، أن هذه التقنية قد تكون أقل دقة من تقنية تسجيل الوقت، نظراً للسرعة التى يتعين أن يعمل بها المراقب، فضلاً عن التآكل الذى يصيب براغى محدد القياس الميكرومترى نتيجة لاستخدامه عدة سنوات. لكن عندما زار المرصد الملكى القديم بجرينتش، وجرب هذه التقنية بنفسه، وجد أنه كان مخطئاً. فى الواقع، كان لدى المراقب وقت أكبر للحكم على موضع القمة والقاعدة على صورة الشمس فى شعرة تعامد التلسكوب، وهناك احتمال أن تكون هذه القياسات أكثر دقة من القياسات الأفقية.

ومع ذلك، بقيت أسئلة تنتظر الرد حول مدى إمكانية الاعتماد على بعض السجلات، والعدد الصحيح للمعدل الذى تنكمش به الشمس يتوقف على قرارك فى اختيار المشاهدات التى تثق فيها أكثر. وفسر إدى وبورنازيان القياسات الرأسية بأنها تقضى بتناقص فى القطر الزاوى للشمس بمقدار ثانية واحدة فى كل قرن، فى حين فسرهما ساباتينو صوفيا وزملاؤه بمركز ناسا جودار سبيس فليت بأنها تقضى بانكماش لا يزيد على ٠,٢ ثانية فى القرن الواحد.

وفى عام ١٩٧٩، أهاج إدى عش الدبابير بادعاءاته، وبدأ العديد من علماء الفلك يدخلون الحلبة، وادعى بعضهم أن لديه إثباتاً على أن قطر الشمس لم يتغير، بينما أكد فريق آخر اقتناعه بوجود انكماش بالفعل ولكنه أقل بكثير مما يدعيه إدى وبورنازيان. واستُخرجت مختلف أنواع السجلات القديمة المتربة من الملفات وأعيد تفسيرها وتأويلها. وقد فحص إيرون شاپيرو (Irwin Shapiro)، الباحث فى معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (Mit)، سجلات قديمة لحالات عبور كوكب عطارد عبر

وجه الشمس. إنها تقنية جميلة، ولكن لا يمكن تطبيقها إلا ١٢ مرة تقريباً في كل قرن، وذلك عندما يُشاهد عطارد، من الأرض، أثناء مروره عبر قرص الشمس. ولأننا نعلم المسافة التي تفصل الشمس عن الأرض، وكذلك المسافة من عطارد للشمس، يستطيع الفلكيون حساب حجم الشمس بقياس الزمن الذي يستغرقه عطارد للمرور عبر قرص الشمس. وأثبت شابيرو باستخدام هذه التقنية أن الشمس لم تتكمش منذ عام ١٧٠٠ إلا بمعدل لا يزيد على ٠.٣ ثانية كل قرن، ولم يستبعد احتمال عدم انكماشها أساساً.

وهناك تقنية رائعة أخرى لقياس قطر الشمس تستند على ظاهرة كسوف الشمس. فالوضع الصحيح لحافة مسار كسوف الشمس (ظل القمر على الأرض) يتوقف على موضع كل من الشمس والقمر، وبُعد كل منهما عن الأرض، وهى مسافات معروفة بدقة شديدة، بل ويمكن حسابها بالنسبة لحالات كسوف وقعت منذ قرون مضت. ويتوقف أيضاً على حجم القمر (الذي لم يفترض أحد أنه تغير) وحجم الشمس. وقد حدث في عام ١٧١٥ كسوف كامل للشمس رُصد من إنجلترا، وجمع السير إدموند هالي، الذي أصبح بعد ذلك عالم الفلك الملكي، بيانات عن الكسوف من مراقبين عديدين. ويمكن استخدام هذه البيانات لاستنتاج موقع حافة الظل، وبالتالي حجم الشمس في ذلك العام. إن إعادة تحليل تلك السجلات التي أُجريت عام ١٩٨٠ قادت إلى أشد القضايا العملية إثارة للبهجة والسخرية في آن واحد، وذلك بعد الجمع بين كافة النتائج.

لقد تضمن عدد مجلة «نيتشر» الصادر في ١١ من ديسمبر ١٩٨٠ مقالاً بارزاً بعنوان: «ثبات قطر الشمس على امتداد الـ ٢٥٠ عاماً الماضية»؛ كتبه ثلاثة من علماء الفلك البريطانيين، هم: جون پاركنسون (John Parkinson)، ولزلى موريسون (Leslie Morison) وريتشارد ستيفنسون (Richard Stephenson). واستند المقال على الدراسات الخاصة بدليل دائرة خط الزوال، وحالات مرور عطارد على وجه الشمس، ورصد حالات الكسوف (بما في ذلك كسوف عام ١٧١٥)، وانتهى إلى أنه «لا يوجد تغير قابل للرصد في قطر الشمس عبر القرون».

وفي الأسبوع نفسه، نشرت مجلة «ساينس» الأمريكية بعددها الصادر في ١٢ من ديسمبر ١٩٨٠، مقالاً قدم إسهاماً آخر في القضية. وحمل عنوان: «مشاهدات لتغير محتمل في نصف قطر الشمس ما بين عامي ١٧١٥ و ١٩٧٩». وكان وراء هذا المقال فريق ضم خمسة من علماء الفلك البارزين، من بينهم أربعة أمريكيين، هم: دافيد دونهام

(David Dunham)، وساباتينو صوفيا (Sabatino Sofia)، وآلان فيالا (Alan Fiala)، ودافيد هيرالد (David Herald)، أما الخامس فهو البريطاني پول موللر (Paul Muller). وقارن هذا الفريق العلمى سجلات كسوف عام ١٧١٥ مع بيانات عن كسوف شوهد فى أستراليا عام ١٩٧٦، وآخر شوهد فى أمريكا الشمالية عام ١٩٧٩، وتوصلوا إلى أنه «تم رصد انخفاض فى نصف قطر الشمس فى الفترة ما بين ١٧١٥ و ١٩٧٩ يُقدر بـ 0.24 ± 0.2 ثانية».

وكأنه يجب أن يقذفهم أحد بالبيض ليضع حداً لهذا الخلاف، لكن رغم تصريحاتهم الجازمة يمكن فى الحقيقة أن يكون كلا الفريقين على حق. إن حل اللغز يكمن فى «مقياس الخطأ» بالنسبة للأرقام التى استشهدوا بها، وتقديرهم الخاص لمدى الثقة فى الدليل الذى استندوا عليه. لقد قال دونهام وزملاؤه إن الشمس تنكمش بمعدل يتراوح بين $0.054 - 0.14$ (أى 0.24 ± 0.2) ثانية كل قرن. بينما رأت مجموعة پاركنسون أنه «لا» يوجد دليل على انكماش الشمس، وأن مشاهداتهم تنفى إمكانية وجود تغير يزيد على 0.15 ثانية لكل قرن (الرقم الذى استشهدوا به «لثبات» قطر الشمس كان «تغيراً» قيمته 0.08 ± 0.07 ثانية لكل قرن، وفسروا ذلك بأنه صفر فى حدود مقياس الخطأ، لكن الـ 0.15 ثانية التى أقروا بها تقع عند الحد الآخر من «مقياس الخطأ»).

وآن الأوان دون شك لكى يلقي شخص ما نظرة طويلة ودقيقة وقوية على «كل» البيانات المتاحة، ويحاول أن يكتشف ما تفعله الشمس حقيقة. وكان ذلك مقياساً للاهتمام الذى أثاره ادعاء إدى وبورنازيان الأصلى بأن علماء الفلك، على ما يبدو، غير منزعجين من افتراض أن الشمس قد تنكمش بمعدل 0.2 ثانية «فقط» كل قرن. إن مثل هذا الانكماش للشمس «ككل» كفىل بأن يطلق كل عام مقداراً من الطاقة أكبر عشرين مرة مما تنتجه الشمس حالياً، وأن يسحب البساط من تحت كل النماذج القياسية للشمس، ناهيك عن لغز النيوتريو الشمسى. وكان رُون جيليلند هو الذى وضع الأمور فى منظور مشجع «ولو قليلاً»، وذلك بتوضيح أن التغيرات جزء من دورة طويلة المدى لنبض الشمس الرقيق، مع ما يتضمنه ذلك من أن هذه التغيرات هى بالفعل شىء له علاقة بطبقات الشمس الخارجية - الغلاف الجوى للشمس - وليس بقلبها والجزء الداخلى منها.

الشمس التى تتنفس

أخذ جيليلند مجموعات البيانات الخمس المتوافرة التى تحتوى سجلات طويلة المدى

لقياسات قطر الشمس، وأخضع تلك البيانات لتحليل إحصائي دقيق، مستخدماً تقنيات طورها الرياضيون للعثور على الاتجاهات طويلة المدى والتغيرات الدورية في مثل تلك العينات. وكانت مجموعتان من البيانات التي استخدمها جيليلند هي نفسها التي استخدمها إدي وبورننازيان، في حين تتضمن المجموعتان الإضافيتان من البيانات سجلات مرور عطارد عبر قرص الشمس، أما المجموعة الخامسة فهي تجميع لتسجيلات أوقات حدوث حالات كسوف الشمس المختلفة. وقد وفرت له تلك السجلات التاريخية معلومات عن التغيرات في حجم الشمس لفترة امتدت ٢٦٥ عاماً، ابتداء من كسوف الشمس الذي حدث عام ١٧١٥ حتى عام ١٩٨٠.

وتضمّن عدد سبتمبر ١٩٨١ من «مجلة الفيزياء الفلكية» (Astrophysical Journal) نتائج تحليل جيليلند. وهو الأمر الذي كان له دلالة في حد ذاته. فرغم أن مجلتي «نيتشر» و«ساينس» الأسبوعيتين لهما اعتبارهما وموضع ثقة واحترام، فإنهما بطبيعتهما يلجأ إليهما العلماء من أجل النشر السريع، وبعض الأبحاث التي نُشرت بسرعة على صفحاتهما ثبت بعد ذلك أنها كانت خاطئة أو ناقصة. أما «مجلة الفيزياء الفلكية»، فقد بنت شهرتها على نظام صارم لمراجعة الأبحاث التي ترد إليها، حيث تعرضها قبل النشر على خبراء آخرين. ولا يعنى ذلك التقليل من مصداقية المجلتين الأسبوعيتين، فلقد نشرت أبحاثاً لي في هاتين المجلتين اللتين كانتا أول من نشر أبحاثاً غير تقليدية عن البقع الشمسية والتغيرات في قطر الشمس. وعندما ظهرت نتائج جيليلند في «مجلة الفيزياء الفلكية»، كان ذلك دليلاً إضافياً على مصداقية هذه النتائج.

ولعل ما يدل على مدى أهمية بحث جيليلند، أن هذا الموضوع لم يشهد أى تطور جديد منذ أن نشر نتائج التحليل الذي قام به.

ماذا وجد جيليلند؟ بتوليف المجموعات الخمس من البيانات، أوضح التحليل الإحصائي أن هناك تناقصاً طويلاً المدى في حجم الشمس يبلغ ٠,٠١٪ لكل قرن، وأن ذلك استمر منذ بداية القرن الثامن عشر على الأقل. بالطبع لازالت هناك مشاكل فيما يتعلق بعدم دقة العديد من القياسات، لكن الأمر كما قال جيليلند «ليس مجرد تشبث عنيد لإثبات وجود اتجاه لتناقص قطر الشمس كل قرن منذ عام ١٧٠٠، وإنما تشير الأدلة الراجعة حالياً إلى أن هذه فيما يبدو هي الحقيقة». والشئ الأكثر إثارة للدهشة، ما أوضحه التحليل بوجود نموذجين لدورتى تغير في حجم الشمس.

أحد هذين النموذجين هو نبض لطيف تتنفس الشمس من خلاله إلى الداخل والخارج، على امتداد دورة تبلغ ٧٦ عاماً. وكان بعض الباحثين قد وجدوا إشارات لذلك من قبل، باستخدام مجموعات محدودة للغاية من البيانات، لكن چيليلند أثبت أن التأثير حقيقى، ويغطى مدى يصل إلى ٠,٠٢ ٪ من نصف قطر الشمس، أى حوالى ١٤٠ كيلومتراً. وقد تصبح الصورة أكثر تعقيداً بالتلميح (مجرد تلميح) إلى أن هناك ذبذبة أصغر فى حجم الشمس على امتداد الدورة الشمسية المعتادة، دورة الأحد عشر عاماً. والمحير فى الأمر، أن كلاً من تذبذب الأحد عشر عاماً وتذبذب الستة والسبعين عاماً يتبع قاعدة إبهام اليد، بمعنى أنه كلما كان حجم الشمس أكبر كان عدد البقع الشمسية أقل.

وتنطبق القاعدة نفسها على تناقص نصف قطر الشمس وازدياد نشاط البقع الشمسية منذ القرن السابع عشر. يُضاف إلى ذلك أن علماء الفلك تشككوا طويلاً أن يكون هناك تواتر(*) للبقع الشمسية طوله ثمانون عاماً، وربط بعض علماء المناخ بين ذلك ودورة ظاهرية مدتها ثمانون عاماً لمتوسط درجات الحرارة على الأرض. والسؤال هنا: هل يمكن أن يكون هناك ارتباط بينهما وبين إيقاع نبض الشمس الذى تبلغ دورته ٧٦ عاماً؟

ربما يكون تناقص نصف قطر الشمس هو أهم ما أسفر عنه التحليل من معلومات، نظراً لأن نظرية تطور النجوم تتوقع أن تنمو الشمس، وإن كان ذلك بكمية صغيرة وغير قابلة للرصد. إن أفضل تخمين فى الوقت الحالى أن يكون ذلك أيضاً جزءاً من دورة نبض طويلة وبطيئة - وهو تخمين يعززه الدليل على وجود بقع شمسية قبل «حد موندر الأدنى» بمئات وآلاف وملايين السنوات. غير أن اكتشاف دورات أقصى يحمل تداعيات قد يكون لها قيمة عملية خلال العقود القليلة القادمة.

كان نصف قطر الشمس فى عام ١٩١١ عند حده الأدنى، فى دورة الستة والسبعين عاماً، وقد أظهرت الشمس حينذاك أيضاً نشاطاً قوياً من خلال دورتها للبقع الشمسية. ومن ثم كان يتعين أن يكون الحد الأدنى التالى لنصف قطرها فى عام ١٩٨٧. ولن

(*) التكرار النظامى للعمليات أو الأحداث. (المترجم).

يستطيع أحد أن يؤكد ما إذا كانت الشمس قد بدأت فى التمدد مرة أخرى فى عام ١٩٨٨، وظل الأمر كذلك حتى مرت عدة سنوات، أُجريت خلالها عدة مجموعات من القياسات. غير أن النتائج الحديثة تتفق مع النموذج القائل بأن الشمس الأصغر حجماً ترتبط بزيادة نشاط بقع الشمس. لقد حدث آخر ذروة لدورة الأحد عشر عاماً فى عامى ١٩٧٩ و ١٩٨٠ تقريباً، عندما ارتفع متوسط عدد البقع الشمسية المقاسة من ٢٨ بقعة فى عام ١٩٧٧ إلى ٩٣ بقعة فى عام ١٩٧٨ ثم ١٥٥ فى عام ١٩٧٩، وهو تقريباً العدد نفسه المسجل فى عام ١٩٨٠، وهو ما يمثل ذروات عالية. وتمر الشمس وقت كتابة هذه الكلمات بحالة هدوء، ولم يتجاوز عدد البقع الشمسية فى عام ١٩٨٦ تسع بقع، ثم سرعان ما بدأ العدد فى الزيادة استعداداً للذروة التالية لدورة الأحد عشر عاماً فى بداية ١٩٩٠ (*). لقد أوضحت المشاهدات أن ذروة أخرى ستحدث، وأنها تتطابق بدرجة كبيرة مع حسابات جيليلند. لكن يمكن أن نتوقع عندئذ ذروة أصغر من النشاط فى المرة التالية، خلال ما يقرب من أحد عشر عاماً من الآن، أى فى بداية القرن الواحد والعشرين.

وفى بحث نشرته مجلة كَلِيمَاتِكْ شِينْج «التغيرات المناخية» (Climatic Change) فى مارس ١٩٨٢، تحرى جيليلند التدايعيات العملية لكل ذلك. ولقد وجد أن العديد من سمات نموذج التغيرات فى درجة حرارة الأرض ابتداء من ١٨٥٠ يمكن تفسيرها فى ضوء تضافر تأثيرات الغبار البركانى (الذى يرتفع عالياً فى الغلاف الجوى ويعترض طريق حرارة الشمس) وتراكم ثانى أكسيد الكربون فى الهواء (الذى يخترن الحرارة فيما يُسمى بتأثير الصوبة الزجاجية) ودورة الستة والسبعين عاماً المرتبطة بتنفس الشمس.

وإذا كان جيليلند على حق، فإن تأثير الشمس خلال الثلاثين عاماً الماضية عمل فى الاتجاه المعاكس لتأثير الصوبة الزجاجية، محاولاً أن يبرد الأرض بينما تتمدد الشمس. لكن بما أننا تجاوزنا الحد الأدنى لدورة الستة والسبعين عاماً الحالية، فإن الشمس ستبدأ خلال العقود الثلاثة القادمة فى بث قدر أكبر من الحرارة، بنسبة زيادة قدرها ٢٨ ٪، وبما يرفع درجة حرارة الأرض بمقدار ربع درجة مئوية، وهو ما يُعتبر أعلى من أى تأثير للصوبة الزجاجية.

(*) وصلت الذروة فى موعدها. وعندما كان هذا الكتاب تحت الطبع، عاد نشاط الشمس إلى التناقص مرة أخرى.

وهذا التأثير نفسه نتاج أنشطة الإنسان، بما فى ذلك احتراق الفحم والبتترول، وتدمير الغابات الاستوائية. ويتوقع خبراء المناخ استمرار تراكم ثانى أكسيد الكربون فى الهواء، مما يؤدى إلى رفع درجة حرارة الأرض خلال القرن الحادى والعشرين. ويتضافر تأثيرى الشمس والصوبة، يمكن لارتفاع درجات الحرارة أن يكون أسرع مما قام بحسابه أى من خبراء المناخ.

وأحد هؤلاء الخبراء هو توم ويجلى (Tom Wigley)، الباحث فى جامعة إيست أنجليا. وقد ناقش هذه البداعيات فى اجتماع الجمعية الملكية فى فبراير ١٩٨٩. أشار توم إلى أن الأرض تستغرق وقتاً طويلاً لكى تستجيب للتغيرات الصغيرة فى الحرارة التى تصلها من الشمس (لأن المحيطات أساساً تستغرق وقتاً طويلاً لكى ترتفع درجة حرارتها أو تنخفض)، لذلك قد لا يتوقع علماء المناخ ظهور تقلبات صغيرة جداً فى سجلاتهم خلال دورة الأحد عشر عاماً - حيث ليس لدى الأرض وقت لتستجيب للانخفاض فى إنتاج الشمس من الحرارة قبل أن يبدأ الإنتاج فى الزيادة مرة أخرى. لكن كما أشار ويجلى، فإن دورة مدتها مائتا عام (أو ٧٦ عاماً) ستكون طويلة بما يكفى لكى تصبح حتى التغيرات الصغيرة فى إنتاج الشمس، فى حدود ١٪ تقريباً، مسئولة عن تقلبات مناخية بمقياس العصور الجليدية الصغيرة.

ما يزال هذا الافتراض محل خلاف وغير مُثبت (خاصة بالنسبة لعلماء الفيزياء الفلكية)، ولكنه يشير إلى الطريق لبحوث مستقبلية ذات قيمة علمية كبيرة، تربط بين نشاط الشمس والمناخ. وكان من فوائد ذلك، التأكيد على ضرورة بذل مزيد من الجهود لقياس حجم الشمس.

وقد شهد عام ١٩٨٢ أحد هذه الجهود، عندما حدث كسوف للشمس كان يمكن رؤيته من جزيرة جاوة، وقامت حملة تولت تمويلها مجلة نيو ساينتست (New Scientist) وجامعة لندن، بقياس حافة مسار الكسوف بدقة، وذلك بمساعدة ٢٥ من طلبة السنوات النهائية بمدرسة محلية، والذين شكلوا سلسلة آدمية طولها ثلاثة كيلومترات تكون زوايا قائمة مع حافة مسار الكسوف فى مجموعه الكلى. وأثبتت مشاهداتهم أن حجم الشمس الحالى أصغر بحوالى ٠,٢ ثانية، أى حوالى ٠,١ ٪ عن القيمة القياسية التى سجلها الرصد الفلكى فى القرن التاسع عشر واستخدمها علماء الفلك منذ ذلك الحين.

وَتَحَقَّق الاختبار النهائي لفكرة تنفس الشمس عندما استُعملت الأدوات الحديثة الأدق بكثير مما استخدمه العلماء فى القرون السابقة، وقامت هذه الأدوات بتسجيل قياسات يومية لقطر الشمس يمكن الاعتماد عليها. وعقب أبحاث إدى، استعان العلماء بتلسكوب زوالى جديد فى مرصد الارتفاعات العالية بولاية كولورادو، وكان هذا التلسكوب آلياً، بحيث يحدد زمن مرور الشمس وقت الظهيرة بدقة أكبر من أى وقت مضى. واستخدم الباحثون أكثر من ٥٠٠ صمام ثنائى حساس للضوء لقياس الأبعاد الرأسية والأفقية لقرص الشمس كل يوم وقت الظهيرة - لكن الأمر سيستغرق خمس سنوات على الأقل قبل أن تكشف القياسات هل تغير حجم الشمس أم لا. وإذا كان جيليلند محقاً، فإننا لن نعثر بالطبع على انكماش خلال العقد القادم، ولكن بالأحرى: سنجد أن الشمس تتمدد - وهذا التمدد من شأنه تدعيم مصداقية فكرة انكماشها منذ القرن السابع عشر.

وبينما ينتظر علماء الفلك تلك البيانات الجديدة حقاً، كشف فريق فرنسى بقيادة إليزابيث ريب (Elizabeth Ribes) فى مرصد باريس بعض البيانات القديمة «الجديدة»، لتُضاف إلى مجموعات بيانات جيليلند الخمس. وكان صاحب الدراسة بالفعل هو جان بيكار (Jean Picard)، الذى أعدها فى النصف الثانى من القرن السابع عشر. وكان بيكار، الذى يُعد من رواد علماء الفلك، قد صمم أدوات بالغة الدقة، وقام من بين ما قام به، بإجراء عدة قياسات لحجم الشمس حتى قبل أن تبدأ القياسات اليومية المنتظمة بواسطة تلسكوب العبور فى جرينتش. وبعملية إعادة تحليل دقيقة لسجلاته القديمة، وجد فريق باريس فى منتصف الثمانينيات من القرن العشرين أن الشمس كانت أثناء «حد موندر الأدنى» أكبر بالفعل بحوالى ألفى كيلومتر من حجمها الحالى. وربما كان الدليل الأكثر حسماً، أنهم وجدوا تناقصاً واضحاً فى حجم الشمس الذى سجله المراقب الماهر بيكار «نفسه» وباستخدام «نفس» الأدوات والتقنيات، ويُقدر هذا التناقص بثلاث ثوانٍ فى الفترة ما بين عام ١٦٢٧، أى فى قمة فترة «حد موندر الأدنى»، وعام ١٧١٨، عندما عادت البقع الشمسية بقوة متواضعة. ويمكن استخدام سجلات بقع الشمس القليلة التى ظهرت خلال فترة «حد موندر الأدنى» أيضاً؛ لاستكشاف سلوك الشمس فى ذلك الوقت.

ورغم أن عدد البقع الشمسية كان قليلاً فى فترة «حد موندر الأدنى»، إلا أنها كانت أندر بعض الشيء فى السنوات ١٦٧٤ و ١٦٨٤ و ١٧٠٥ و ١٧١٦؛ مما يشير إلى أن دورة الأحد عشر عاماً كانت مستمرة، فى ذلك الوقت، ولكن بإيقاع هادئ. وخلال كل تلك

السنوات - فيما عدا عام ١٧١٦ - لم يكن من الممكن رؤية البقع الشمسية إلا في النصف الجنوبي من الشمس، واحتفظ مراقبو ذلك الوقت برسومات دقيقة لما شاهدوه. وليس هناك غموض بالنسبة لتلك الرسومات، نظراً لقلة البقع الشمسية، بحيث يمكن رسم قصة حياة كل بقعة شمسية وهي تتحرك عبر قرص الشمس المرئي نتيجة لحركة دوران الشمس. وتبين قياسات الدوران القائمة على هذه الرسومات القديمة أن الشمس كانت تدور بشكل أبطأ، في الوقت الذي كانت فيه أكبر حجماً. وذلك بالضبط ما يمكن توقعه إذا كانت الزيادة في الحجم تمثل تضخماً حقيقياً للمادة في الجزء الخارجى من الشمس. ومثل المتزلج الذي يدور حول نفسه وذراعه ممدودتان إلى الخارج، نجد الشمس تبطئ من دورانها عند تمدد طبقاتها الخارجية. وقد أشارت ريب وزملاؤها، في عام ١٩٨٧، إلى أن المشاهدات تتفق بالأحرى مع نموذج السلوك المتوقع لنبضة حقيقية للطبقات الخارجية للنجم، وليس بالتلميح إلى أية تغيرات في الجزء الداخلى للشمس (حيث تتكون النيوتريونات).

والسؤال الرئيس الذى فرض نفسه حول فهم الأسرار العميقة للشمس هو، هل هذا النوع من السلوك «طبيعى» على مدى تاريخ الشمس الطويل، أم أن نموذج الدورات الشمسية ونشاط بقع الشمس ككل شئ فريد، لم يستمر إلا لبضع مئات أو آلاف من السنوات. لو كنا نعيش في زمن نشاط غير عادى للشمس، فمن الوارد أن ننظر بجدية إلى تلك الأفكار التى تعزو قلة عدد النيوتريونات الشمسية المرصودة حتى الآن، إلى كون الشمس تمر بحالة غير عادية. ولكن لو كانت هناك طريقة ما للعثور على أثر لدورات نشاط شمسي مماثلة حدثت منذ بضعة ملايين أو مئات الملايين من السنوات، فإننا سنضطر عندئذ إلى الاقتناع بأنه من الطبيعى أن تنتج الشمس عدداً من النيوتريونات أقل مما تقدره النماذج القياسية. إن الدليل الذى نحتاجه موجود، على نحو صعب التصديق، في مواد مترسبة ترجع إلى ٦٨٠ مليون عام مضت، في الجزء المعروف الآن بأستراليا، وهذه المواد حللها الباحثون في الثمانينيات من القرن العشرين.

السجل في الصخور

ترجع الصخور التى درسها جورج وليامز (George Williams) إلى عصر ما قبل الكمبرى المتأخر، أى الفترة بين ٦٥٠ مليون و ٧٠٠ مليون عام مضت. وبالرغم من أن تحديد التاريخ بدقه يتوقف على افتراضات تتعلق بالمقياس الزمنى الجيولوجى، فإننا نقول على سبيل التبسيط إن تلك الصخور كان عمرها ٦٨٠ مليون عام. وعندما ترسبت

هذه الصخور كان العالم آنذاك فى قبضة عصر جليدى قاسٍ، وكان جنوب أستراليا الحالى دائم التجمد، مثل مناطق التجمد الدائم الموجودة فى شمال كندا الآن. وكانت تمتد على حافة منطقة التجمد، من الشمال إلى الجنوب تقريباً، بحيرة ضحلة طويلة أو بحر داخلى، وتراكم بقاع هذه البحيرة رمل ناعم وجسيمات غرين، ونمت تدريجياً حتى كونت الصخور المعروفة الآن بتكوين إلاتينا (Elatina Formation). وقد ترتفع درجة الحرارة صيفاً فى منطقة التجمد الدائم غرب البحيرة إلى ما يزيد قليلاً على درجة التجمد، بينما تنخفض فى الشتاء إلى 30°م و 40°م تحت الصفر.

إن الصخور المترسبة فى هذه البحيرة تشكل الآن جزءاً من سلسلة جبال فليندرز (Flinders)، الواقعة غربى إدلاید (Adelaide). وقد لاحظ وليامز أثناء عمله الجيولوجى فى المنطقة قطاعاً غير عادى من أحجار الغرين فى تكوين إلاتينا. ويبلغ سمك هذا القطاع حوالى عشرة أمتار من الصخر الرسوبى، وهو يتكون من طبقات أو صفائح رقيقة يتراوح سمك كل منها بين 0.2 و 0.3 ملليمتر. ويشبه هذا الشكل الذى كوّنته تلك الأحزمة الضيقة من الغرين والرمل بدرجة كبيرة نموذج حلقات النمو السنوى فى قطعة كبيرة من جذع إحدى الأشجار. وفى هذه الحالة، كان الشكل المميز للأحزمة فى تكوين إلاتينا عبارة عن طبقات دكاء لونها بُنى مائل للاحمرار، تتراوح المسافة بينها ما بين مليمترين وستة عشر مليمترًا، وتفصلها عدة أحزمة من مادة أبيض لونها، هى الصفائح الضيقة. ويستمر هذا النموذج عبر مساحة تمتد عدة مئات من الأمتار.

ولقد تكونت هذه الترسبات من جسيمات دقيقة تراكمت فى قاع بحيرة قديمة، ويوضح انتظام نمط الخطوط فى الصخور أن هناك تواتراً منتظماً بدرجة أو أخرى جُلب للماء من الخارج، وشُحن فى المادة المترسبة. وربما كان هذا التواتر شهرياً مرتبطاً بالمد والجزر الذى يحدث فى البحيرة بتأثير القمر، أو سنوياً يرتبط بالذوبان الموسمى للأنهار الجليدية القريبة. وعندما قام وليامز بعد الطبقات، وجد أن نموذج الترسبات السميكة والرقيقة تكرر تقريباً كل إحدى عشرة طبقة، مع «دورة مزدوجة» من تناوب دورات الإحدى عشرة طبقة من الترسبات السميكة والرفيعة الشائعة فى تلك المواد المترسبة. لقد كان مدلول ذلك جلياً، وذكر هذا الاكتشاف فى عام ١٩٨١، كدليل على تأثير الشمس على المناخ فى أواخر عصور ما قبل الكمبرى. واستقر تحديد طبيعة الصفائح الرقيقة على أنها طبقات سنوية من المواد المترسبة؛ الأمر الذى يحدث فى بعض البحيرات حالياً، وتُعرف بالرفائق الحولية.

وهذا الاكتشاف الذى يفترض أن الإيقاع الشمسى بصورته منذ ٦٨٠ مليون عام مضت هو نفسه الإيقاع الحالى، لم يحظ من علماء الفلك بشكل عام بالترحاب. وأبدى العديد منهم تشككه فيما يتعلق بكيفية ظهور أية «إشارة» شمسية فى المناخ يمثل هذه القوة، بينما تأثير دورة الشمس على المناخ ضعيف جداً فى الوقت الحالى. وتساءل البعض عما إذا كانت دورة الإحدى عشرة طبقة المفترضة مرتبطة فعلاً بالمد والجَزر القمرين، وليس بالشمس. وألا يكون وليامز قد أخطأ فى العد، وأنها اثنتا عشرة طبقة «فى الحقيقة»، أى دورات شهرية؟ لكن أحد كبار علماء الفلك المتخصصين فى الفلك الشمسى، وهو الأسترالى رونالد جيوفنللى (Ronald Giovanelli)، ساند بحماس بحث وليامز، وساعده للحصول على التمويل اللازم لبرنامج أعده لاستخراج جزء مركزي كامل عبر طبقة الرقائق الحولية البالغ سمكها عشرة أمتار. وذهب وليامز إلى معمل أبحاث ترى - رينج فى أريزونا وهو مسلح بهذه العينة، وحل نماذج هذه الطبقات وكأنها حلقات شجرة تماماً، واستخدم مجموعة من التقنيات الإحصائية القوية كان الباحثون فى معمل الأبحاث قد طوروها (*).

قام فى البداية بتحليل ١٢٢٧ رقيقة حولية متتالية من قطاع متصل من الجزء المركزى، ثم حلل بعد ذلك ١٥٨٠ دورة «بقع شمسية» متتابة، تحددها الأحزمة الأكثر قتامة فى الجزء المركزى. وفى عام ١٩٨٥، أعلن أن هناك بالإضافة إلى الدورة الأساسية، والتي تتفاوت فى طولها بين ثمانى سنوات وست عشرة سنة، توجد عدة تواترات أخرى. فعلى سبيل المثال، يتغير طول كل دورة أساسية، طبقاً لعدد الطبقات فى الدورة، عبر دورة أطول طولها ١٢ دورة أساسية. كما يوجد نموذج مميز وواضح يتكرر كل ٢٦ دورة فى سجل إلاتينا.

وأصبح الآن هناك دليل كافٍ لزيادة اهتمام علماء الفلك بالموضوع، وكان من بينهم روبرت براسويل (Robert Bracewell)، الباحث بجامعة ستانفورد، الذى قضى عمره فى دراسة تغيرات بقع الشمس - إن سجل تغيرات بقع الشمس الذى يمكن الاعتماد

(*) تستجيب بعض الأشجار بشكل حساس للتغيرات فى المناخ، بحيث ترسب كل عام حلقات سميكة أو رقيقة نتيجة للتقلبات المناسبة أو غير المناسبة. ويمكن استخدام الأجزاء المركزية المستخرجة من جذوع أشجار حية، وعينات من أشجار أقدم، من خشب ميت، لإعادة بناء نماذج للتغيرات المناخية ترجع إلى ألفى عام سابقة فى بعض أجزاء العالم. ولذلك، فإن التقنيات التى كان يحتاجها وليامز لتحليل طبقات الرقائق الحولية كانت جاهزة وفى انتظاره فى أريزونا.

عليه يعود إلى أقل من مائتى عام، غير أن وليامز على ما يبدو وجد سجلاً لتغيرات بقع الشمس يمتد زمنياً إلى ١٣٢٧ عاماً. لا بأس كيف أثر نشاط الشمس على المناخ منذ ٦٨٠ مليون عام مضت، لقد تعمق براسويل فى تحليل السجل، على افتراض أنه كان بالفعل نموذجاً لنشاط بقع الشمس، وقارنه مع سجله المتواضع تاريخياً الذى اعتاد عليه.

ووجد أنه يمكنه تفسير نموذج الرقائق الحولية طبقاً لتواترات أساسية كل أحد عشر عاماً وكل ٢٢ عاماً، تم تعديلها بدورتين أطول، تمتدان ٢١٤ عاماً و ٢٥٠ عاماً. ويتغير بانتظام طول دورة «الأحد عشر عاماً» على امتداد الدورة المعدلة ذات الـ ٣٥٠ عاماً، بينما يبدو أن الحجم الذى تبلغه «ذروة بقع الشمس» فى أية دورة من دورات الأحد عشر عاماً يتوقف على وضع الدورة داخل الدورة المعدلة ذات الـ ٢١٤ عاماً. بالطبع لا أمل فى العثور على دورات أطول من ٣٠٠ عام فى السجل التاريخى لبقع الشمس، والذى يقل عمره عن مائتى عام، لكن براسويل وجد طريقة بارعة لاختبار اكتشافاته.

مستخدماً كل التواترات التى عثر عليها فى الرقائق الحولية المسجلة فى تكون إلاتينا، قام بضبط جهاز الكمبيوتر الخاص به على الحد الأدنى من البقع الشمسية التى حدثت بالفعل فى صيف ١٩٨٦، وقام بتشغيله بشكل «ارتجاعى» بالنسبة للزمن من أجل «التنبؤ» بنموذج نشاط البقع الشمسية عام ١٨٠٠. وحصل على نظير تام تقريباً للسجل الحالى لنشاط الشمس، مع كل الذروات العالية والمنخفضة فى السنوات الصحيحة، والتغير فى طول الدورات نفسها محسوبة بشكل صحيح.

لقد حصل براسويل على أفضل اتفاق بين أية نظرية للتغيرات الشمسية وسجلات حقيقية لبقع الشمس من أزمنة تاريخية، وذلك باستخدام السجل الصخرى «وحده» الذى يرجع إلى ٦٨٠ مليون عام مضت. وبدا أنه لا مجال للشك فى أن الساعة داخل الشمس منضبطة، وأن الشمس الآن فى الحالة الأساسية نفسها التى كانت عليها منذ ٦٨٠ مليون عام (*).

(*) فى عام ١٩٩٠ / ١٩٩١، كان من المفترض أن يزول أى شك محتمل، وذلك عندما تبلغ الشمس ذروة النشاط ويزيد عدد بقع الشمس على ١٢٥، طبقاً للحسابات التى أجراها براسويل.

الروابط الشمسية

لماذا، إذاً تكون إشارة الشمس قوية لهذه الدرجة فى رقائق إلاتينا الحولية؟ قد لا يكون لذلك أية علاقة بقصتنا الحالية، ولكن ربما من المفيد التوقف قليلاً للتعرف على التفسيرات المطروحة. لقد لاحظ وليامز إحدى النقاط المهمة فى تقريره الأصلي عن الاكتشاف. فالسجلات الجيولوجية توضح أن قوة المجال المغناطيسى للأرض فى أواخر العصر قبل الكمبرى، كانت لا تزيد على ١٠٪ من قوته الحالية. ولم يكن ذلك أمراً غير عادى، لأن هذا المجال المغناطيسى يتغير على امتداد الدهور، وإن كان لا أحد يعرف لماذا. ولكن أياً كان السبب، فإنه عندما يكون المجال ضعيفاً يمكن للجسيمات المشحونة القادمة من الشمس (بروتونات وإلكترونات الريح الشمسى) أن تنفذ فى الغلاف الجوى للأرض بعمق أكبر مما يحدث حالياً، ومن ثم تؤثر على المناخ.

وهناك تفسير آخر محتمل للارتباط بين نشاط الشمس والمناخ، وفى العصر قبل الكمبرى المتأخر لم تكن الحياة على الأرض قد أطلقت بعد كمية كبيرة من الأكسجين فى الغلاف الجوى (يجب أن نقول بالأحرى الحياة فى «البحر»، لأنه منذ ما يقرب من ٤٢٠ مليون عام مضت لم تكن النباتات قد بدأت تستعمر اليابسة بعد). أما الآن، فإن الأكسجين الموجود فى الغلاف الجوى يمتص الأشعة فوق البنفسجية القادمة من الشمس. ويحدث ذلك أساساً فى الستراتوسفير^(*) على ارتفاع يتراوح بين عشرين إلى ثلاثين كيلومتراً فوق رعوسنا، وينجم عن ذلك أن يكتسب الستراتوسفير طاقة، ويصبح أدفاً من الطبقات العليا لطبقة التروبوسفير، وهى طبقة من الغلاف الجوى تمتد من الأرض إلى الستراتوسفير. ولأن الستراتوسفير أعلى حرارة من التروبوسفير، فإن الحمل الحرارى يتوقف عند قمه التروبوسفير^(**)، ويصبح المناخ (الذى يحكمه الحمل الحرارى) مقيداً بالتروبوسفير. وفى العصر قبل الكمبرى، كان هناك قدر ضئيل من الستراتوسفير، أو ربما لم تكن هذه الطبقة موجودة على الإطلاق، لأن كمية الأكسجين كانت ضئيلة آنذاك أو لم يكن هناك أكسجين ليمتص الأشعة فوق البنفسجية القادمة من الشمس.

(*) الجزء الأعلى من الغلاف الجوى.

(**) يرتفع الهواء الساخن إلى أعلى، لكن هذا لا يحدث إلا إذا كان الهواء فى أعلاه أبرد من الهواء الصاعد.

من المفترض أن يُحدِّث ذلك تأثيرين مهمين على الأقل. أولهما أن المناخ لم يكن مقيداً بالأرض بذلك الشكل اللصيق، وكان بإمكان أعمدة الحمل الحرارى أن ترتفع فى الغلاف الجوى إلى مسافات أعلى مما عليه حالياً، أما التأثير الثانى، فخاص بالأشعة فوق البنفسجية القادمة من الشمس والتي تستطيع عملياً النفاذ إلى الأرض، ومن ثم فإن أية تغيرات فى هذه الأشعة المرتبطة بدورة البقع الشمسية يمكن أن تؤثر بالفعل على درجة الحرارة على سطح الأرض. وبالطبع، فإن أى شىء يؤثر على درجة الحرارة والحمل الحرارى سيؤثر أيضاً على نماذج معدل هطول الأمطار.

ربما يفسر «ذلك» لماذا كان تأثير الشمس على الطقس منذ ٦٨٠ مليون عام أكبر منه الآن. ومع ذلك، فإن هذا التأثير لم يظهر إلا فى المناطق التى تتميز بحساسية شديدة للتغيرات الموسمية فى معدل هطول الأمطار، ونحن محظوظون بشكل غير عادى لأن الآثار المحفوظة لمثل هذه المجموعة من الصخور الرسوبية ظهرت للعيان الآن. ولا يهم أى التفسيرين هو الصحيح، وإنما حقيقة أن الظروف على الأرض كانت مختلفة تماماً فى العصر قبل الكمبرى بحيث لا يمكننا عقد مقارنات مع النماذج المناخية الحالية. أثناء تحضير هذا الفصل قدم كيثن زاهنل (Kevin Zahnle) الذى يعمل بمركز أبحاث ناسا آمس (Nasa's Ames) وچيمس ولكر، الباحث بجامعة ميشيجان، تفسيراً آخر. ولا أستطيع مقاومة إirاده هنا، حتى لو كان لن يضيف إلا القليل إلى محاولتنا لكشف أسرار الشمس.

الرابطة القمرية

لقد ربط زاهنل ولكر بين دورات الإلانتينا ودورات المد والجزر القمرية التى حدثت فى الغلاف الجوى للأرض منذ ٦٨٠ مليون عام مضت. إذ يوضح السجل الصخرى - على حد قولهما - تأثير «تداخل» قوى بين دورتين، تمتد إحداها ٨, ١٠ عاماً والأخرى ٢, ٢٠ عاماً. ويناسب ذلك بالتحديد أطوال الدورات المرتبطة بالشمس والقمر فى العصر قبل الكمبرى.

وكانت إحدى نقاط الانطلاق فى تحليلهما هى البحث الذى قام به بوب كورى (Bob Currie)، الباحث بجامعة نيويورك، والذى أثبت فيه وجود تأثير قمرى على نماذج

هطول الأمطار حول العالم حالياً. ويرجع ذلك إلى ما يُسمى المد العقدي القمري في الغلاف الجوى للأرض، والذي ينشأ من تقدم المستوى المدارى للقمر حول الدائرة الظاهرية لمسيرة الشمس (يتم تحديد مستوى الدائرة الظاهرية لمسيرة الشمس بحركة الشمس الظاهرية عبر النجوم).

يشكل مدار القمر زاوية قدرها خمس درجات مع الدائرة الظاهرية لمسيرة الشمس والتي تكون بدورها زاوية قدرها $23,5$ درجة مع خط الاستواء. وبالتالي، تتراوح درجة ميل مدار القمر، كما يُرى من الأرض، بين $18,5$ درجة و $28,5$ درجة؛ مما يؤدي إلى حدوث تغير منتظم في عمليات المد الناشئة في الغلاف الجوى (وفى البحر أيضاً، وإن كان ذلك ليس له صلة بقصتنا)، طبقاً لدورة تمتد $18,6$ عاماً.

لقد كانت هذه الفترة مختلفة في الماضي، حين كان القمر أقرب إلى الأرض. وعندما قام علماء الفلك بحساب هذه الدورة وجدوا أنها تبلغ $20,2$ عاماً في الزمن الذي ترسبت فيه رقائق إلاتينا الحولية، ومن ثم فإن أى تأثير قمري على تلك الترسيبات القديمة يجب أن يبدو بوضوح في هذه الفترة تقريباً.

كما لا بد أن سلوك الشمس كان مختلفاً قليلاً في تلك الأزمنة البعيدة. إن دورة النشاط الرئيسية التي تبديها الشمس حالياً هي دورة بقع الشمس والتي تبلغ مدتها أحد عشر عاماً. وقد درس روبرت نويز (Robert Noyes) وزملاؤه بجامعة هارفارد الدليل على وجود دورات بقع نجمية في النجوم التي تماثل شمسنا، وتوصلوا إلى أن طول الدورة يتناسب مع فترة دوران النجم. ولقد افترضت النظرية النجمية القياسية أن الشمس كانت تدور بسرعة أكبر عندما كانت أحدث عمراً، وبالتالي فإن طول دورة نشاط بقع الشمس منذ 680 مليون عام يُقدر بحوالى $10,6$ عاماً.

وعندما فحص زاهنل وولكر سجل الرقائق الحولية، قررا أن أفضل تفسير للتغيرات يقضى بدورة أساسية مدتها $10,8$ عاماً، وهو ما يتفق بدرجة كبيرة مع الحسابات الفلكية لنشاط الشمس في ذلك الوقت. ولكنهما لم يقبلا افتراض وليامز أن أفضل تفسير للسمة الثانية في نموذج الرقائق الحولية هو أنها دورة «بقع شمسية مزدوجة».

وعُدلت الدورة الأساسية بشدة بواسطة موجة جيبية تكاد تكون نموذجية يبلغ طولها ٢٨, ٤ دورة بقع شمسية. ويمكن تفسير ذلك فى حالة وجود تأثير تداخل (*) يعمل بين الدورة الأساسية ودورة تماثل بعضها «تقريباً». وهذا الوضع يناسب تماماً المد العقدى القمري لتلك الفترة.

غير أن ذلك يترك اللغز الكبير بدون إجابة: إذا كانت تأثيرات الشمس والقمر على المناخ قوية جداً منذ ٦٨٠ مليون عام، فلماذا أصبحت هذه التأثيرات ضعيفة جداً فى الوقت الحالى؟ لقد اعتقد زاهنل وولكر أن لديهما الإجابة.

منذ ستمائة مليون عام كانت الأرض نفسها تدور بسرعة أكبر مما هى الآن، وكان اليوم ٢١ ساعة فقط. وحتى الآن، تُحدث الشمس بشكل يومى مَدّاً فى الغلاف الجوى، وذلك ليس بسبب قوة الجاذبية ولكن بفعل الحرارة، حيث يمتص بخار الماء والأوزون الإشعاع الشمسى القادم. وفى العصر قبل الكمبرى، كان هناك بالضرورة تأثير مماثل طالما أن درجة حرارة الغلاف الجوى ترتفع صباحاً وتنخفض ليلاً، حتى وإن كان تركيب الغلاف مختلفاً وكمية الأكسجين أقل. ويطرح ذلك إمكانية ظاهرة أخرى، تُسمى الرنين.

لكل النظم دورة اهتزاز طبيعية، وإذا اهتزت طبقاً لهذه الدورة الطبيعية فإنها تستجيب بذبذبات أكبر عما إذا اهتزت تبعاً لدورة أخرى. ومثال ذلك، مغنى الأوبرا المدرب جيداً الذى يمكنه أن يؤدى نغمة موسيقية تحطم درجة نقائها كأساً من الزجاج، لقد استخدم هذا المغنى ظاهرة الرنين بأن أدى النغمة التى تماثل الدورة الطبيعية لذبذبة الكأس (وهى أيضاً النغمة التى تسمعها إذا بللت إصبعك وفركتها برقة حول حافة كأس زجاجية، وتكون الحيلة أفضل إذا كانت الكأس من البللور الغالى الثمن).. وعندما نداعب أوتار الجيتار، أو الهواء داخل فلوت (أو زجاجة) عند نفخك خلال الفتحة، فإنها ستتذبذب طبقاً لترددتها الطبيعى.

(*) ذلك هو بالضبط نوع تأثير التداخل المعتاد بالنسبة للموسقيين. فعند عزف نغمتين نقيتين وقريبتين جداً من بعضهما معاً ولكن ليس لحد التطابق التام، فإن تفاعل النغمتين ينتج نغمة ثالثة أكثر عمقاً، وسوف تحصل على التأثير نفسه إذا كان تردد إحدى النغمتين يقرب من ضعف أو ثلاثة أضعاف تردد الأخرى - إذا كانت النغمة الثانية قريبة من النغمة التوافقية للنغمة الأولى. وتتوقف درجة النغمة الناتجة على الفرق بين النغمتين الأصليتين المعزوفتين معاً. وبالطريقة نفسها، يتوقف طول التعديل طويل المدى لرقائق الإيتنا الحولية، وفقاً لزاهنل وولكر، على الفرق بين أطوال الدورتين الأساسيتين. وتحدث آثار التداخل تلك بشكل طبيعى فى العديد من الظروف، وبالتالى فلا عجب إذا كان لهذه التأثيرات عملها على الغلاف الجوى للأرض.

عندما كان اليوم ٢١ ساعة، كان تردد المد اليومي في الغلاف الجوي هو نفس تردد التذبذب الطبيعي للغلاف، وبالتالي كان هناك رنين مما يجعل تأثير المد أكبر بكثير مما هو عليه الآن. ولأن التأثير «النهارى» للشمس على الغلاف الجوي (وبالتالى على المناخ) كان أكبر في ذلك الوقت، فإن أية تغيرات في أشعة الشمس من عام لآخر كانت ستؤثر بشكل غير متناسب على عمليات المد في الغلاف الجوي آنذاك (مثلاً، إذا تغيرت كمية طاقة الأشعة فوق البنفسجية التى تشعها الشمس على امتداد دورة البقع الشمسية). ولا عجب إذا علمنا أن كمية الطاقة فوق البنفسجية التى تشعها الشمس تتغير فعلاً عبر دورة البقع الشمسية. وفى الزمن الذى ترسبت فيه رقائق إلاتينا الحولية، كان طول اليوم على الأرض أقل من ٢١ ساعة، ثم أصبح أكثر طولاً شيئاً فشيئاً وببطء..

ويبدو أن مدّاً جويّاً رناناً «تقريباً» حدث منذ ٦٨٠ مليون عام يمكن أن يفسر بشكل جيد جداً لماذا يبين تكوين إلاتينا مثل هذه «الإشارة» القوية لتأثيرات أصبحت أضعف بكثير الآن. بل ربما كان هذا التأثير أكبر منذ ٦٠٠ مليون عام، عندما كان الرنين تاماً، لكننا لم نكن محظوظين بالقدر الكافى للعثور على رقائق حولية ترجع إلى تلك الفترة لنقوم بتحليلها.

والمهم بشكل خاص فى بحث زاهنل وولكر أنه أوضح كيف أن التغيرات التى حدثت للأرض، وليست تلك التى حدثت فى الشمس، هى التى يمكن أن تفسر السجل الصخرى لأحداث مناخية ترجع إلى ٦٨٠ مليون عام مضت. وفى هذه الصورة، يبدو أن الشمس خلال الـ ٧٠٠ مليون عام الماضية اتبعت منهجاً ثابتاً جداً، وأن التعديلات الصغيرة جداً المطلوبة فى طول دورة بقع الشمس، لكى تلائم سجل الرقائق الحولية، تتفق بالكامل مع النموذج القياسى للشمس التى كانت تدور بسرعة أكبر قليلاً فى ذلك الوقت، كما تنطبق هذه التعديلات تماماً مع عمليات الرصد لنجوم أخرى. إن الشمس لا تمر حالياً بحالة غير عادية. فهى نجم طبيعى، وتقوم بأشياء طبيعية. ويمكننا بالتالى أن نتوقع بثقة أن محاولات علماء الفلك لسبر أسرار قلب الشمس، سوف تخبرنا عن أشياء وثيقة الصلة بكل تاريخ حياة الشمس، وليس ببعض الظروف الخاصة التى ربما اقتصر عملها على الزمن الذى نشأت فيه الحياة الذكية على الأرض لكى تتظر فى تلك الأسرار. وهناك أخبار طيبة بالفعل - فلدى علماء الفلك الآن وسائل لسبر قلب الشمس، وهى تعتمد على تقنيات شبيهة بالطريقة التى يستخدمها علماء الزلازل لدراسة قلب

الأرض بمراقبة الهزات الأرضية. إن الذبذبات في الغلاف الجوى للأرض قد تفسر العلاقة بين الشمس والمناخ منذ ٦٨٠ مليون عام. لكن يبدو الآن، أن الذبذبات في الجزء الخارجى من الشمس تكشف ماذا يدور فى قلبها فى الوقت الحالى. وتحمل هذه التقنية الجديدة اسم «هليو سيسمولوجى»، أى علم الزلازل الشمسية - الأمر الذى له تأثير مباشر على قضية النيوترينو الشمسى.

الفصل السابع .

الشمس المرتجفة

فتحت الشمس المرتجفة قلبها لعلماء الفلك، وكشفت لهم لأول مرة أسرارها الشديدة العمق فى الثمانينيات من القرن العشرين. لكن الاكتشاف الذى جعل سبر أغوار قلب الشمس ممكناً حدث فى الواقع فى عام ١٩٦٠، قبل سنوات من اصطياد أول نيوترينو شمسى فى صهرىج راي دافيز المدفون تحت الأرض. ولمدة عشر سنوات لم يدرك أحد مغزى تلك المشاهدات وعمليات الرصد، ثم احتاج الأمر إلى عشر سنوات أخرى (أو تزيد) لتصميم وتشغيل معدات لمراقبة رجفات الشمس بدقة تكفى لسبر أغوارها الداخلية. ومن المحتمل أن تكون سنوات التسعينيات هى العقد الأعظم لعلم زلازل الشمس، وإن كانت المشاهدات الأولى المفصلة تعطينا معلومات عن تركيب الشمس وتغيرات درجة حرارتها الداخلية، تفوق كل ما عرفناه قبلاً. وقد لا تتوافق هذه الاكتشافات بالكامل مع النموذج القياسى للشمس الذى وضعه العلماء النظريون، لكنها تتفق تماماً بالفعل مع التعديلات التى أُجريت على النموذج القياسى نتيجة لوجود الويمبات.

بدأت القصة مع اكتشاف رقع صغيرة تتحرك إلى الداخل والخارج فى دورات طولها حوالى خمس دقائق على امتداد سطح الشمس. وحدث الاكتشاف بالصدفة، فى معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، عند استخدام معدات مصممة لدراسة الحركات العشوائية أو الهىولية، للغازات على سطح الشمس، والتى يجعلها الحمل الحرارى تدور على هذا السطح. واستخدم روبرت لىجتون (Robert Leighton) وزملاؤه تقنية دوبلر بعد

تطويرها لزيادة حساسيتها، بحيث يمكنها قياس المواضع المتغيرة لخطوط الطيف في الضوء القادم من الشمس بدقة كبيرة.

إن كل الغازات الساخنة تُحدث نماذج مميزة من الخطوط، وهى مثل بصمة الإصبع بالنسبة للطيف الضوئى - واستُخدمت هذه الطريقة فى العشرينيات من القرن العشرين لتحديد هوية العناصر المختلفة فى الغلاف الجوى للشمس، ونسب كل منها. إن الغازات عندما تتحرك جميعها فى وقت واحد نحوك أو بعيداً عنك، فإن هذه الخطوط تنتقل إلى أطوال موجية مختلفة قليلاً عن تلك المرتبطة بنفس العناصر عندما تكون فى حالة سكون. فعندما تنتقل هذه الخطوط نحو النهاية الحمراء للطيف (ممتدة إلى أطوال موجية أطول)، فإن ذلك يعنى أن الغاز المشع للضوء يتحرك مبتعداً عنا، أما عندما تنتقل هذه الخطوط نحو النهاية الزرقاء للطيف (منضغطة إلى أطوال موجية أقصر)، فإن ذلك يعنى أن الغاز المشع للضوء يتحرك نحونا. ويمكن تصور دقة المعدات التى استخدمها فريق معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا من طبيعة اكتشافاتهم - لقد وجدوا أن رقعاً من الشمس تتذبذب بشكل متقطع، مرتدة إلى الداخل والخارج خمس أو ست مرات فى مدى نصف ساعة تقريباً، بسرعة ٥٠٠ متر/ ث وبإزاحة كلية تُقدر بحوالى خمسين كليومتراً. وتحرك الذبذبات رقعة من سطح الشمس على امتداد مسافة لا تزيد على ٢٪ من قطر الشمس، وكانت هذه الذبذبات تبدو فى بادئ الأمر وكأنها ظاهرة محصورة، ولا علاقة لها بسلوك الشمس ككل، غير أن ذلك كان خطأ.

رنين كالجرس

ومع بداية السبعينيات من القرن العشرين توصل الكثير من علماء الفلك، كل على حدة، إلى تصور مكنهم أولاً من فهم هذه الذبذبات الشمسية، ثم استخدامها بعد ذلك لسبر قلب الشمس. وكان أهم ما فى ذلك التصور إدراك أن السبب فى هذه الحركات المرتدة القصيرة العمر لرقعة من سطح الشمس، لا يرجع إلى تأثير موضعى بحت. بل يمكن تفسير هذه الحركات على نحو أفضل باعتبارها تأثيراً ناجماً عن ملايين الذبذبات الأصغر، وهى عبارة عن موجات صوتية حُبست داخل الشمس وجعلت سطحها يرن كالجرس. وما كان يبدو أنه مجموعات من ذبذبات مدتها خمس دقائق كان فى الحقيقة انطباق مئات من الذبذبات ذات الترددات المختلفة ودورات تتراوح بين حوالى ثلاث دقائق وساعة تقريباً. فى حين تصدر عن الجرس القُرصى نغمة نقية عند

ضربه بالمطرقة الخاصة به، فإن الشمس تتصرف وكأنها جرس قرصى يقع فى قلب عاصفة رملية، حيث تقوم جسيمات صغيرة من الرمل بضربه بشكل متكرر، وتتكون نتيجة لذلك ذبذبات جديدة طوال الوقت بينما تضمحل الذبذبات القديمة. وقد يكون مفجر كل هذا النشاط هو «العواصف» العشوائية التى أشعلتها الحركات الهيولية التى كان ليجتون قد شرع فى دراستها أساساً، لكن الشمس استجابت لتلك العواصف مثل آلة وترية متعددة الأوتار.

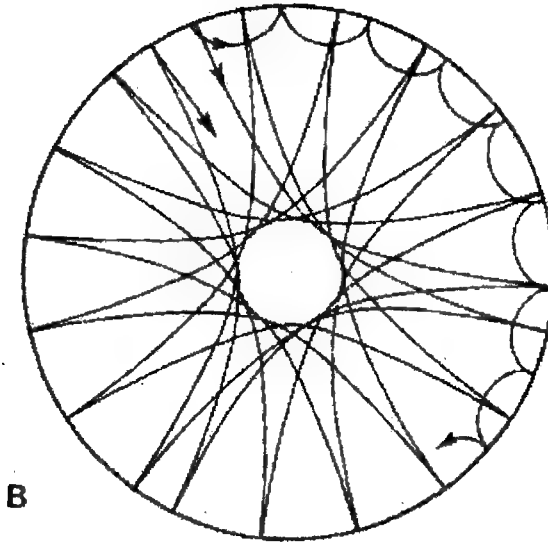
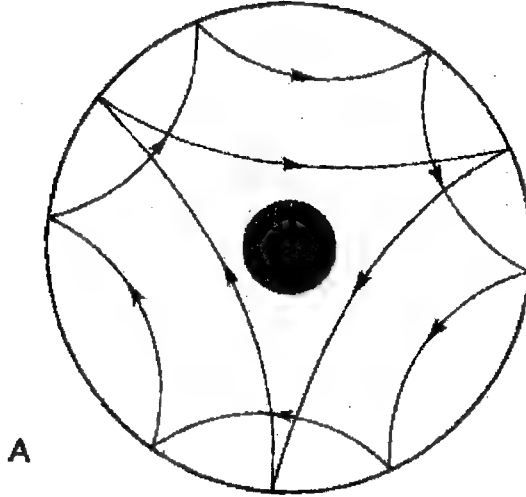
لا توجد أوتار داخل الشمس، لكن هناك العديد من النغمات النقية التى يمكن أن تُحدث رنيناً بين سطح الشمس وقاع منطقة الحمل الحرارى. وهى موجات صوتية، مثل الموجات الصوتية التى تحدث عند النفخ فى إحدى أنابيب الأرغن (إننى أقصد إحدى أنابيب أرغن الكنيسة التقليدى، بالطبع، وليس الأرغن الإلكتروني!). وتتحد هذه الموجات الصوتية لتَهز سطح الشمس بشكل منتظم، وذلك نظراً للطريقة التى تتغير بها سرعة الصوت عند الأعماق المختلفة داخل الشمس(*).

وتعمل هذه الموجات كما يلى: إن سرعة الصوت تزيد كلما اتجهنا من سطح الشمس إلى قاع طبقة الحمل الحرارى، أى إلى الطبقات الأعماق من الشمس، لأن درجة حرارة هذه الطبقات أعلى، ومن المعروف أن سرعة الصوت تزيد كلما ارتفعت درجة حرارة الغازات. ومع ذلك، فإن الموجة الصوتية عندما تنعطف تحت سطح الشمس، وتبدأ فى الانتقال عبر منطقة الحمل الحرارى، يتحرك قاع الموجة بسرعة أكبر من قمته، وهو ما يجعل الموجة الصوتية المتحركة تتحنى بعيداً عن قاع منطقة الحمل الحرارى، لتعود مرة أخرى إلى سطح الشمس(**). ولكن عند السطح لا تستطيع الموجة الصوتية الفرار -

(*) تصل سرعة الصوت فى المنطقة المعنية من الشمس إلى ١٥٠ ضعف سرعته فى الغلاف الجوى للأرض، وذلك نظراً لارتفاع درجة حرارة الشمس، لكن المسافة من مركز الشمس إلى سطحها أكبر بحوالى خمسة ملايين مرة من طول أية آلة نفخ مثل الكلارينيت. وقد يكون المكافئ الشمسى للذبذبة الهوائية داخل الكلارينيت موجة يبلغ طول دورتها ثلاثين دقيقة، أى خمسة ملايين ضعف دورة الذبذبة الصوتية، فى الكلارينيت، ولقد أكد دوغلاس جوف، الذى عقد هذا التناظر الدقيق، أن مثل هذه «النغمة» المنخفضة وإن كانت تقع خارج المدى الصوتى الذى تدركه أسماعنا، فإن تسمية تلك الذبذبات الشمسية موجات صوتية يظل صحيحاً، لأن العمليات الفيزيائية التى تدعمها هى نفسها التى تدعم الموجات الصوتية داخل أى كلارينيت على الأرض.

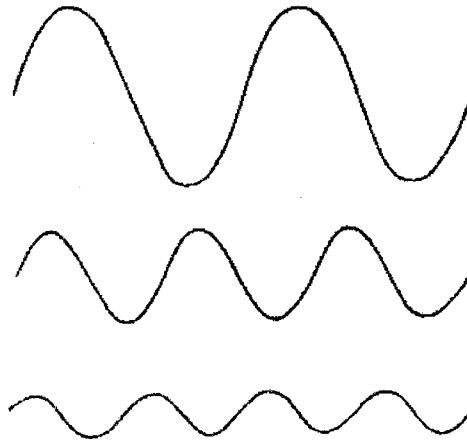
(**) يحدث نفس الشيء للموجات الصوتية فى الغلاف الجوى للأرض. وفى الأيام الحارة، يكون الهواء الملاصق لسطح بحيرة ما أبرد بشكل واضح من الهواء الأعلى منه قليلاً. والموجات الصوتية التى تبدأ فى التحرك إلى أعلى من إحدى ضفتى البحيرة تتحنى مرتدة إلى أسفل نحو السطح، وقد تحمل معها مثلاً أصوات المتحدثين بوضوح إلى مسافة كبيرة عبر سطح الماء - كنوع من السراب السمعى.

لأن الفضاء خارج الشمس فراغ، ولا يستطيع الصوت الانتقال عبر الفراغ. وبالتالي، فإنها ترتد من السطح، منعكسة مرة أخرى إلى الطبقات الأعمق كما ينعكس الضوء على المرآة. وتتكرر هذه العملية كاملة، فتتحلق الموجة الصوتية حول الشمس، وتغوص بشكل متكرر في منطقة الحمل الحراري، لتتحنى عائدة ومنعكسة على السطح. (شكل ١ - ٧).



شكل (١ - ٧) أ، ب تتحنى الموجات الصوتية المتحركة داخل الشمس عند مرورها عبر الأجزاء الداخلية الساخنة، وتنعكس عند اصطدامها بالسطح من أسفل. وبالتالي، يمكن أن يتكون نموذج من الموجات المستقرة داخل الشمس، كما يتضح من هذين الرسمين التخطيطيين. وأينما تلمس هذه الموجات المستقرة سطح الشمس، فإنها تحدث ذبذبة منتظمة يمكن قياسها من الأرض.

يتوقف كل من العمق الذى تنفذ إليه الموجة والمسافة التى تقطعها حول الشمس فى كل وثبة بين الانعكاسات على السطح، على طولها الموجى. فكثير من الموجات يرتد إلى داخل الشمس ويضمحل دون إسهام فى الذبذبات المنتظمة التى اكتُشفت فى بداية الستينيات من القرن العشرين. لكن بالنسبة لبعض الموجات، تكون المسافة بين الارتدادات مناسبة تماماً للحصول على عدد صحيح من الوثبات تنطبق فى دائرة كاملة حول الشمس. وقد ترتد الموجة ثلاث، أو ست أو أى عدد آخر من المرات أثناء رحلاتها، ولكنها عندما تدور وتدور حول الشمس تلمس السطح دائماً فى نفس الأماكن الثلاثة، أو الستة، أو أى عدد كان. وبالتالي لا تدفع الموجة تلك الرقع الخاصة من سطح الشمس إلى الداخل والخارج مرة واحدة؛ ولكنها تدفعها فى كل مرة تمر حول الشمس. ويُعرف النموذج الذى تكونه باسم الموجة المستقرة (شكل ٢ - ٧)، وهى مكافئة تماماً للموجات المستقرة التى تجعل وتر الجيتار يتذبذب عند مداعبته محدثاً نغمة نقية، وهو ما ينطبق أيضاً على عمود الهواء داخل أنبوب أرغن، ويستطيع الفيزيائى، بتحليله للنغمات التى يصدرها أنبوب أرغن، أن يخبرك بأبعاد ذلك الأنبوب دون أن يكون قد رآه قط. وبالمثل، فإن تحليل «النغمات» التى تحدثها الموحات الصوتية المتنقلة حول الشمس، يمكن عالم الفيزياء الفلكية من معرفة الظروف داخل الشمس، دون أن يرى قط ما تحت السطح.



شكل (٢ - ٧) يوضح الشكل التخطيطى هنا ثلاثة نماذج للموجة المستقرة، وهى مثل موجات وتر الجيتار عند مداعبته أو عمود الهواء المتذبذب داخل أنبوب أرغن. هذه الموجات الثلاث جزء من نفس عائلة النغمات التوافقية، وتنطبق كل منها على الحيز نفسه - الموجة الأولى ذات قمتين وقرارين، والموجة الثانية لها ثلاث قمم وثلاثة قرارات، أما الموجة الثالثة فلها أربع قمم وأربعة قرارات، ويستطيع الفيزيائى أن يحدد حجم أنبوب الأرغن الذى أصدر هذه النغمات، وذلك بتحليلها. وباستخدام التقنية نفسها، يستطيع علماء الفيزياء الفلكية أن يعرفوا الكثير عن الظروف داخل الشمس.

قد يكون الموقف أكثر تعقيداً من ذلك، لأن «التجويف» داخل الشمس ثلاثى الأبعاد وليس أنبوباً مستقيماً أحادى البعد، غير أن أسس التحليل هى نفسها تماماً.

تناغم دقيق

أكدت عملية رصد متطورة خلال السبعينيات من القرن العشرين، أن الشمس «ترن» بالفعل بهذه الطريقة. فى أول الأمر، وجد علماء الفلك أنه يمكن مشاهدة الذبذبات التى دورتها خمس دقائق حتى فى ظل السطوع الكلى لشمس، وذلك فى شكل تغير بالغ الصغر فى الضوء «المتكامل»، كما يسمونه. إنهم بذلك فى الحقيقة، يتعاملون مع الشمس كما لو كانت نجماً بعيداً، بالنظر الى سطوعها الكلى، وليس إلى التغيرات فى درجة السطوع من مكان لآخر على امتداد السطح. وبإدخال تحسينات بعد ذلك على دراساتهم فى مجال التحليل الطيفى، تمكنوا من إثبات أن كل رقعة شمسية نراها تتحرك إلى الداخل والخارج فى دورة مدتها خمس دقائق، هى فى الحقيقة تتعرض إلى دفع عدد هائل من موجات مستقرة أصغر بكثير.

إن قياس الطريقة التى تحرك بها مثل هذه المنطقة الصغيرة من سطح الشمس إلى أعلى وإلى أسفل خمس أو ست مرات كل نصف ساعة على امتداد مسافة تُقدر ببضع عشرات الكيلومترات، لهو أمر يثير الدهشة والإعجاب. غير أن استخدام تقنية تُعرف باسم تحليل فورييه، يمكّن من تفكيك هذه الحركة إلى الأجزاء المكوّنة لها. ومرة أخرى، هناك تناظر موسيقى ملائم. فعلى سبيل المثال، تتطابق أعماق نغمة يمكن أن تصدر عن أنبوب أرغن مع صوت ذى طول موجى يسمح لموجة واحدة فقط أن تنطبق مع طول الأنبوب. وتُعتبر هذه النغمة هى النغمة الأساسية لهذا الأنبوب بالذات. ويتكون الأرغن من أنابيب ذات أطوال متعددة بحيث يمكنه لعب نغمات مختلفة. غير أن هناك طريقة أخرى للحصول على نغمات مختلفة من أنبوب واحد فقط.

إن الطول الموجى للنغمة الأساسية يساوى طول الأنبوب. وتلك هى النغمة «الطبيعية» التى يُصدرها الأنبوب، والتى تحصل عليها بمجرد النفخ عبر نهاية الأنبوب وجعل الهواء داخله يرن (والنفخ عبر فتحة زجاجة فارغة يُحدث الحيلة نفسها). ولكن يمكنك الحصول على موجة طولها الموجى نصف طول الأنبوب بحيث تتكرر مرتين بداخله، وعلى موجة أخرى طولها الموجى ربع هذا الطول بحيث تشكل أربع موجات داخل الأنبوب، وهكذا. وتُعرف هذه الموجات الأقصر التى تناسب الأنبوب أيضاً، باسم النغمات

التوافقية، وهى تناظر على نحو ملائم النغمات الأعلى المرتبطة بالنغمة الاساسية. وحتى إذا حاول عازف أرغن أن يعزف نغمة نقية - الأساسية - فإن بعض ذبذبات الهواء فى الأنبوب سوف تعطى نغمات توافقية، وهو ما يساعد على إعطاء الأنواع المختلفة من آلات النفخ تركيبات صوتية مختلفة، حتى وإن كانت هذه الآلات تعزف النغمة نفسها.

وباستخدام تحليل فورييه، يستطيع أى فيزيائى حل ذلك التعقيد المكون من النغمات المتداخلة والمتراكبة، ويخبرك بالضبط ما النغمات النقية والنغمات التوافقية التى تجمعت فى الأنبوب لإنتاج الصوت الثرى الذى تسمعه. وباستخدام التقنية نفسها بالضبط يمكن تحليل نموذج الذبذبات التى تم رصدها على سطح الشمس إلى الموجات الفردية المستقرة التى تجمعت لإحداث التغير المرصود. ورغم أنه لا يمكن إحصاء عدد الموجات الفردية المستقرة بدقة، إلا أن الدليل الإحصائى يبين أن هناك بالفعل عشرات الملايين من الذبذبات المنفصلة - «نغمات منفصلة» - تتداخل فيما بينها لإنتاج التأثيرات المرصودة (تتحد فى بعض الأماكن وتلغى بعضها البعض فى أماكن أخرى). وتحرك كل ذبذبة فردية سطح الشمس إلى الداخل والخارج على امتداد بضع عشرات الأمتار تقريباً، بسرعات لا تزيد على بضع عشرات من السنتيمترات فى الثانية (قارن ذلك مع قطر الشمس، الذى يُقدر بحوالى «مليون» كيلومتر)، لكن يمكن لأية موجة مستقرة أن تستمر لعدة أيام، وتحرك على الدوام الرقعة نفسها من سطح الشمس إلى الداخل والخارج، ويساعد طول عمر هذه الموجات الراصدين على جمع معلومات كافية تجعل تحليل فورييه فعالاً. إن التأثير المشترك للملايين من هذه الذبذبات المتناهية الصغر، هو الذى يحدث نبضات الذبذبة الأكبر قصيرة الأجل التى لوحظت أول مرة فى بداية الستينيات من القرن العشرين.

وهناك طريقة أخرى تستطيع بها إدراك مدى دقة وبراعة عملية التعديل والتطوير الدقيقة التى أدخلت على تقنية التحليل الطيفى. تذكر، أن كل شئ يتوقف على الطريقة التى تغير بها خطوط طيف ضوء الشمس موقعها ذهاباً وإياباً فى مدى صغير من الأطوال الموجية، مثل منطقة الغاز التى رُصدت تتحرك نحو أداة التحليل الطيفى أو بعيداً عنها، وهو ما يكافئ حدوث تغير فى لون الضوء. عندما تتحرك نحونا تلك الرقعة التى ندرسها من سطح الشمس، فإن الطول الموجى الخاص للضوء (لون) الذى ينبعث من سطح الشمس يصبح أقصر (أكثر زُرقة)، أما عندما تتحرك رقعة سطح الشمس

بعيداً عنا فإن الطول الموجى للضوء المنبعث يصبح أطول (أكثر احمراراً). وبما أن الأرض تدور، فإن أداة الرصد ذاتها تنتقل، على مدار اليوم، حيث تتجه أولاً نحو الشمس ثم تبتعد عنها، بسرعات تغطى مدى يُقدر بحوالى ٨٠٠ متر/ ث - ولما كانت هذه الدورة منتظمة ومعروفة فمن السهل السماح بها فى الحسابات.

لكن حتى هذا التأثير على الأطوال الموجية للضوء - الألوان - التى تم قياسها صغير. فإن سرعة الضوء نفسها تبلغ ثلاثمائة «مليون» متر فى الثانية. إذا كنت تقود سيارة بسرعة كافية نحو إشارة مرور حمراء، يمكنك، مبدئياً تغيير لون الضوء الذى تريد أن تراه إلى اللون الأخضر، وذلك بنقل موضع الضوء نحو الأزرق (فى الجزء المرئى من ألوان الطيف يقع الأخضر بعد منتصف المسافة بين الأحمر والأزرق بقليل). لكن لكى تتمكن من تحقيق هذه الحيلة، يجب أن تتحرك بسرعة تساوى ثلث سرعة الضوء، أى حوالى مائة مليون متر فى الثانية. فى حين أن التأثيرات التى قيسَت على سطح الشمس توازى حركات تُقدر سرعتها بحوالى عشرة «سنتيمترات» فى الثانية، أى سرعة السير فى نزهة لطيفة، فهو تأثير أدق مليار مرة. ربما، لا يثير الدهشة أنه بالرغم من ذلك فإن ذبذبات الشمس رُصدت أول مرة فى بداية الستينيات من القرن العشرين، ولكن لم يبدأ فهمها وتحليلها بالتفصيل إلا فى السبعينيات، وفى الثمانينيات فقط، بدأت دقة وبراعة المعلومات التى تحتويها تقدم رؤى جديدة لما يحدث داخل الشمس، لكن تلك الرؤى كانت تستحق انتظارها.

النتائج الأولى

يتوقف العمق الذى تدور فيه الموجة الصوتية المتقلة قبل أن تتحنى عائدة نحو سطح الشمس، على مدى السرعة التى تزداد بها سرعة الصوت كلما انتقلت الموجة إلى مسافات أعمق داخل الشمس. ويتوقف ذلك بدوره على طريقة ازدياد درجة الحرارة. وبالتالي، يستطيع علماء الزلازل الشمسية تكوين صورة جانبية لدرجة حرارة الطبقات الخارجية للشمس - صورة دقيقة لكيفية زيادة درجة الحرارة كلما تحركت تحت السطح لمسافات أعمق، وذلك بتحليل الموجات المستقرة المختلفة (أشكال الذبذبة المختلفة) التى تسير الشمس عند أعماق مختلفة (شكل ١ - ٧). ومن ناحية أخرى، فإن سرعة الصوت تتوقف أيضاً على التركيب الصحيح للشمس - وما إذا كانت تحتوى على ٢٥٪ من الهليوم أم ٣٠٪ مثلاً أو حتى ٢٠٪.

قبل تطور علم الزلازل الشمسية لم تكن هناك وسيلة مباشرة لقياس درجات الحرارة داخل الشمس، وكان يُستدل عليها من النماذج التي يضعها الكمبيوتر باستخدام الفيزياء القياسية. أما الآن، فيمكن اختبار صحة هذه النماذج. وكان من الممكن استخدام النموذج القياسي للشمس، الذي طوره علماء الفيزياء الفلكية قبل مجيء علم الزلازل الشمسية في وضع تنبؤات عن ترددات الذبذبات الصوتية التي اكتُشفت الآن وحلَّها العلماء (كان يمكن أن يتم ذلك فعلاً «قبل» اكتشاف الذبذبات، لكن لم يتصور أحد أن مثل هذه الأشياء الدقيقة يمكن أن تصبح بالفعل جزءاً من الدراسات الرصدية للشمس). إن الترددات التي تنبأ بها النموذج القياسي أعلى قليلاً من الترددات التي رُصدت بالفعل، لكن يمكن أن تتلاءم تنبؤات النموذج مع القياسات المرصودة إذا تمددت منطقة الحمل الحراري في الجزء الخارجي من الشمس إلى عمق أكبر قليلاً مما اعتقده علماء الفيزياء الفلكية، أي إلى عمق مائتي ألف كيلومتر تقريباً، أي حوالي ٣٠٪ من الطريق بين سطح الشمس ومركزها. وبمجرد إجراء هذا التعديل، يصبح النموذج القياسي متفقاً مع المشاهدات، شريطة أن تحتوى، منطقة الحمل الحراري الخارجية من الشمس على حوالي ٢٥٪ من الهليوم، وهي النسبة المطلوبة بالضبط طبقاً لنموذج قياسي آخر للفيزياء الفلكية، وهو النموذج الذي يصف الانفجار العظيم الذي وُلد منه الكون.

لقد أتاح علم الزلازل الشمسية لعلماء الفيزياء الفلكية أن يعدلوا، في الحال، نموذجهم القياسي للشمس ويحسنوه؛ لكن هذه التعديلات الدقيقة والبارعة لا تغير طريقة حساب هذا النموذج القياسي لدرجة الحرارة في قلب الشمس، وبالتالي ظلت مشكلة النيوتريно الشمسي قائمة بكامل قوتها.

بل يمكن القول بأن دراسة الذبذبات الشمسية جعلت مشكلة النيوتريونات الشمسية تبدو، بشكل ما، أسوأ. وذلك لأن ما قدمته الذبذبات من تصور لتركيب الشمس سحب البساط من تحت أقدام بعض الأفكار التي قُدمت لسنوات عديدة «لتفسير» ندرة النيوتريونات الشمسية. من السهل أن يحلم العلماء بحلول المشكلة النيوتريно من نوع حلول حفلات الكوكيتيل، طالما أن ذلك لا تعوقه عمليات رصد فعلية لداخل الشمس الذي كان آنذاك منطقة مجهولة، غير أن الأمر يصبح أصعب بالنسبة لهذه الأفكار الغريبة عندما نبدأ في اكتشاف كيفية عمل المناطق الداخلية من الشمس في الواقع. وسأعطي مثالا واحداً فقط.

يعتمد ذلك «التفسير» الخاص لمشكلة النيوترنىو على إمكانية أن تكون بعض المادة الموجودة فى قلب الشمس، والمعالجة بواسطة تفاعلات، الاندماج النووى، قد اختلطت وهى فى طريقها إلى الخارج بحيث لوثت الطبقات الخارجية بمادة معالجة (نوع من الرماد النووى)، وغيرت هذه المادة من تركيب قلب الشمس، حيث سحبت إليه من أعلى مادة غير معالجة (وقود زائد). ويمكن ترتيب مثل هذا الاختلاط للحصول على نموذج حاسوبى يتنبأ بإنتاج منخفض من النيوترينات الشمسية - لكن ذلك يؤثر أيضاً على طريقة تغير سرعة الصوت داخل الشمس تبعاً للعمق. وهذا النوع من التغيير الناجم عن هذا الخليط يمكن حالياً أن يحسمه علم الزلازل الشمسية بأن يعلن أنه غير وارد، وأن علماء الفيزياء الفلكية بحثوا عنه، ولكنهم لم يجدوه.

إن النتائج الأولى لعلم الزلازل الشمسية لم تحسم فقط أمر هذا «الحل» الفيزيائى الفلكى الخاص لمشكلة النيوترنىو، ولكنها حسمت عملياً كل المحاولات الأخرى للالتفاف حول المشكلة بمجرد معارضة النموذج القياسى الذى وضعته الفيزياء الفلكية. وتوضح طريقة ارتجاف الشمس أن حل المشكلة لا يكمن فقط فى تعديل الفيزياء الفلكية، ولكن يجب أن يتضمن أيضاً فيزياء جسيمات «جديدة». وبالفعل، حان الوقت لعودة الوميظ مرة أخرى إلى القصة. أولاً، يمكن أن تتأكد قوة فرع العلم الجديد، علم الزلازل الشمسية، نتيجة للطريقة التى حل بها نزاعاً استمر لعقود، وهو النزاع الخاص بطريقة دروان الشمس.

لقد عرف جاليليو أن الشمس تدور، لأنه اكتشف نقطاً دكناء على سطحها وراقب بعضها يتحرك نتيجة لدوران الشمس. ودرس علماء الفلك المحدثون دوران الشمس بالطريقة نفسها. ولأن الشمس ليست جسماً صلباً مثل الأرض، وإنما جسم سائل، فإنها لا تدور كلها بالسرعة نفسها - يستغرق الغاز عند خط الاستواء حوالى ٢٥ يوماً ليدور مرة واحدة، بينما تدور المناطق القطبية مرة كل ثلاثين يوماً - والمقصود بالطبع بسرعة الدوران هى السرعة عند السطح فقط - فالشمس قد تدور أسرع (أو أبطأ) فى الداخل. ولقد أثارت هذه الإمكانية فضول واهتمام علماء الفلك الذين درسوا طريقة دوران الكوكب عطارد فى مداره (وهو أقرب كوكب للشمس).

إن المدارات التى تتبعها الكواكب حول الشمس ليست دوائر ولكنها قُطْع ناقص، حيث تكون الشمس عند إحدى بؤرتَيْ هذا القطع الناقص.

لقد كان ذلك معروفاً منذ بداية القرن السابع عشر بفضل أبحاث يوهانز كبلر (Johannes Kepler) الرائدة. لكن أدرك علماء الفلك في القرن التاسع عشر أنه حتى مع الأخذ في الاعتبار كل العوامل المعروفة، مثل جذب قوة جاذبية كل كوكب من الكواكب الأخرى، فإن مدار عطارد يظل معقداً بعض الشيء، فبدلاً من أن يرسم الكوكب دائماً نفس القَطْع الناقص، يغير المدار اتجاهه بانحراف قليل، ويدور على محور حول البؤرة اللصيقة بالشمس، في كل مرة يدور فيها الكوكب حولها. إن تأثير ذلك ضئيل جداً، حيث لا يتعدى مجموع تغيير الاتجاه ٤٢ ثانية من قوس في كل قرن. إلا أنه تغير حقيقي، ولم يتمكن أحد من تفسيره حتى العقد الثاني من القرن العشرين، عندما قدم ألبرت آينشتاين نظرية النسبية العامة. وكان من بين الانتصارات العديدة لهذه النظرية أنها فسرت «بدقة» التغير في مدار عطارد عبر القرون (النظرية النسبية العامة هي نظرية لقوة الجاذبية تختلف اختلافاً دقيقاً عن نظرية نيوتن للجاذبية، والتي اعتمدت عليها كافة حسابات المدارات السابقة).

واستجابة لرغبة جديرة بالثناء لاختبار النسبية العامة لأقصى حد، أشار حديثاً بعض علماء الفيزياء الفلكية إلى طريقة أخرى تجعل مدار عطارد يغير من اتجاهه بالشكل الذي رُصد. فإذا كان قلب الشمس يدور بسرعة كبيرة للغاية وينتأ نحو الخارج نتيجة لذلك، فإن تأثير قوة جاذبية هذا النتوء سيجعل مدار عطارد يغير أيضاً من اتجاهه حول الشمس. وإذا كان ذلك هو ما حدث بالفعل، فإنه لا حاجة بعد للنسبية العامة لتفسير الظاهرة!

لم يحتدم الجدل حول ذلك في أروقة العلم - فهناك كمٌ ضخم من الأدلة الأخرى على صحة النسبية العامة. لكن ظلت فكرة أن قلب الشمس يدور بسرعة أكبر احتمالاً مزعجاً حتى نهاية السبعينيات من القرن العشرين. لقد أدرك علماء الفيزياء الفلكية عندئذ أن مثل هذا النموذج الشمسي ذي القلب الناتئ الذي يدور بسرعة أكبر، قد يؤثر أيضاً على شكل الذبذبات في الشمس. وقد أوضحت مقارنة عمليات الرصد مع الحسابات المناسبة للنموذج، عدم وجود أية إشارة لمثل هذا التأثير. وهنا طرح العلماء فرضاً آخر، وهو احتمال أن تكون الشمس تدور بالفعل بسرعة أبطأ قليلاً في داخلها عن خارجها. (وهو ما لم يتنبأ به أحد على ما يبدو). إن النسبية العامة لا غنى عنها لتفسير ما يحدث لمدار عطارد، ولكل الأشياء الأخرى التي فسرتها. وبما أن النسبية

العامة رسخت كنظرية «جيدة»، فإن دقة استخدام الذبذبات الشمسية كوسيلة لسبر داخل الشمس قد تأكدت بحقيقة أن التركيب الداخلى الذى تصفه الذبذبات يتفق مع التركيب الذى توقعناه إذا كان تغير اتجاه مدار عطارد ناتجاً بالفعل عن تأثيرات نسبية. إذاً، ما الذى «يمكن» أن نقوله لنا هذه التقنية الجديدة لعلم الزلازل الشمسية عن محاولات حل مشكلة النيوتريـنو؟

التوصل إلى اتفاق

لقد ظهرت الإجابة للعيان كنتيجة لزيارة قام بها جون فولكنر لمعهد تاتا فى بومباى فى شهرى نوفمبر وديسمبر ١٩٨٥. فقد التقى هناك الباحث الهندى ماينك فاهايا (Mayank Vahia) الذى كان مهتماً بمشكلة النيوتريـنو الشمسى، وسأل فولكنر كيف يمكن أن يؤثر وجود الـويمبات فى النماذج على الذبذبات المتوقعة للشمس؟ لكن فى ذلك الوقت لم يكن فولكنر يملك إجابة، ولذلك خططاً معاً لحضور اجتماع الاتحاد الدولى للفلك الذى عُقد فى نيودلهى فى نهاية نوفمبر. وهناك، كان فولكنر يعرف أن دوجلاس جوخ، الباحث بجامعة كمبريدج، سيلقى محاضرة عن التغيرات الشمسية، وكانت فرصة ذهبية لاكتشاف ما يريدان.

فتح حديث جوخ عيون فولكنر وفاهايا على حقيقة وجود مشكلة نبض شمسى كما توجد مشكلة نيوتريـنو شمسى. ويتعلق الأمر بمرحلة من القياسات أكثر دقة من تلك التى سبق لى مناقشتها حتى الآن، فهى لا تتناول دورات ذبذبة الموجات الصوتية داخل الشمس التى تسبب الذبذبات ذات دورة الدقائق الخمس، ولكنها تتعامل مع «الفارق بين» دورات تذبذب موجات صوتية ذات اتصال وثيق بها. إن الموجات التى وصفتها حتى الآن تُعرف تقنياً بموجات ضغط (P - nodes). وهى تكافئ تماماً نبض الموجات الصوتية التى تجعل كتلة الماء فى حوض الاستحمام تموج إذا هويت بقوة راحة يدك على سطح الماء. إن بعض موجات الضغط التى أزعجت سطح الشمس تمر مباشرة عبر قلب الشمس، وبالتالي يمكنك أن تتوقع أنها ستكون مفيدة فى دراسة الظروف فى قلب الشمس. ونتيجة للارتفاع الشديد لدرجة حرارة القلب تكون سرعة الصوت فيه أيضاً كبيرة جداً، وتمر موجات الضغط عبر القلب بسرعة عالية؛ مما لا يتيح لها الوقت لأن تتأثر إلا بطرق دقيقة جداً. وتتضمن إحدى هذه الطرق الدقيقة، فرق تردد التذبذب بين الموجات الصوتية ذات الدورة المتماثلة تقريباً - أى «فجوة التردد بين

موجات الضغط المتجاورة». لقد كان ذلك هو الجزء الرئيس من حديث جوخ الذى شد انتباه فولكنر.

وذكر جوخ أن النموذج القياسى للشمس (حتى بعد التعديل الدقيق الذى ذكر سابقاً) لا «يتنبأ» فقط بعدد كبير جداً من النيوتريونات الشمسية، ولكنه يتنبأ أيضاً بفجوة تردد بين موجات الضغط تلك تزيد بنسبة ١٠٪ عن القيمة التى كشف عنها علم الزلازل الشمسية. إن ذلك لا يبدو سيئاً فى حد ذاته. لكن عندما أشار جوخ فى حديثه لجمهور الحاضرين فى نيودلهى، إلى أن كل النماذج الشمسية الموجودة والتى «تحل» مشكلة النيوتريينو بجعل قلب الشمس أبرد بنسبة ١٠٪، جعلت الموقف أكثر سوءاً (النماذج ذات المزيج الداخلى، التى سبق لى أن ذكرتها) - لأن فجوة التردد بالنسبة لهذه النماذج تكون كبيرة جداً بحوالى ٥٠٪.

وعلى الفور سأل فولكنر ما الذى حدث مع نماذج الويمپ. رد جوخ بأنه لم يُجرِ الحسابات على تلك النماذج ولا يعرف الإجابة، ولكن طالما أن الويمپات أيضاً تجعل مركز الشمس أبرد فإنه توقع أنها ستجعل مشكلة التذبذب كذلك أسوأ. لكن فولكنر فكر ملياً فى المشكلة، وأصبح مقتنعاً أن نموذج الويمپ يختلف عن كل النماذج الأخرى ذات القلب الأبرد فى نقطة حاسمة، ومن ثم فسواء أكان «حجم» التعديل فى فجوة التردد هو «الحجم» المناسب أم لا، فإن هذا النموذج يسير فى «الاتجاه» السليم، مقللاً بذلك التعارض الذى أوضحه جوخ بشكل بارز. ومع ذلك، ففى النماذج المختلطة تكون سرعة الصوت «أعلى» فى مركز الشمس، رغم درجة الحرارة الأكثر انخفاضاً، وذلك بسبب الاختلاف فى التركيب مقارنة بالنماذج القياسية، بينما تكون سرعة الصوت أكثر «انخفاضاً» فى نموذج الويمپ، لأن درجة الحرارة أقل والتركيب أساساً هو نفس تركيب النموذج القياسى. ولكن هل يمكن أن يكون التأثير كبيراً بما فيه الكفاية للقيام بالمهمة؟

عندما تعقب فولكنر، جوخ فى المساء التالى لمحاضرتة، أثارت الفكرة اهتمامه ووجدها تستحق الفحص الدقيق، لكن متى؟ وأين؟ كان جوخ متوجهاً بالفعل إلى معهد تاتا لمدة أسبوعين، وفولكنر سيكون هناك أيضاً فى تلك الفترة. فوجد الاثنان أنها فرصة ممتازة لا ينبغى إهدارها.

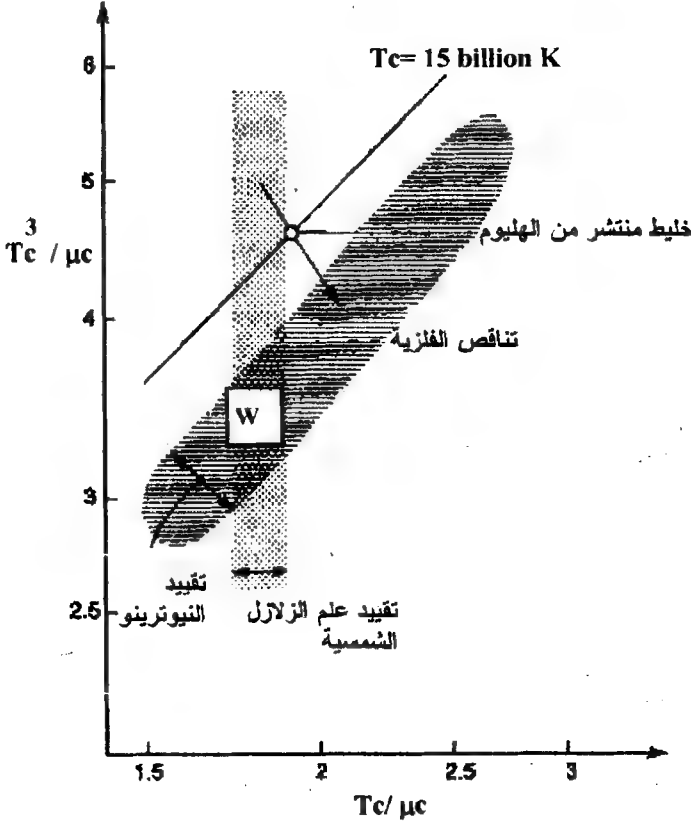
وشهد معهد تاتا طوال خمسة أيام عملاً مكثفاً، قام به الصديقان القديمان منذ أيام كمبريدج، ومعهما زميلهما الجديد فاهايا، وأثبت الثلاثة أن التغير فى التركيب الداخلى

للشمس الناجم عن وجود عدد كافٍ من الوميئات لحل مشكلة النيوترينو الشمسى يؤدى إلى تعديل دورات الذبذبات، بحيث تكون فجوة التردد بين موجات الضغط التى تنبأ بها النموذج متوافقة تماماً مع الفجوة التى قاسها علماء علم الزلازل الشمسية. ويوضح شكل (٣ - ٧) كيف أن نموذج الوميپ يتفق مع القيود الرصدية - وكيف أن كل «الحلول» الفيزيوفلكية الأخرى، لمشكلة النيوترينو تجعل مشكلة التذبذب أسوأ. وفى عصر الكمبيوتر، كان فولكنر مبتهجاً للغاية وهو يوضح كيف أن الحسابات تمت بالطريقة القديمة، باستخدام القلم والورق - ولأنه ترك كل بياناته فى سانتاكروز، كان عليهم أن يقرعوا الأرقام التى تطلبها حساباتهم من الرسوم البيانية المنشورة فى النسخة المطبوعة للأبحاث المبكرة التى شارك فى إعدادها عن الوميپ (حيث تحتفظ مكتبة معهد تاتا بأعداد مجلة الفيزياء الفلكية). وفى ديسمبر ١٩٨٥، أنهى فولكنر وجوخ وفاهيا بحثهم المشترك، ووصلت نسخة منه إلى مجلة «نيتشر»، فى لندن، فى آخر أيام ذلك الشهر. وبعث فولكنر بنسخة أخرى إلى تلميذه السابق چيليلند فى بولدر - وعندما عاد إلى كاليفورنيا، علم أن چيليلند كان قد فكر بالفعل (وأجرى أبحاثاً) طبقاً للخطوط نفسها.

وفى هذه المرة هزم القلم والورق الكمبيوتر. فقد استخدم چيليلند وزملاؤه فى بولدر أجهزة كمبيوتر ضخمة لاستنباط ورسم العديد من أشكال التذبذب المختلفة والظروف الفيزيائية المطلوبة لجعل الذبذبات النظرية تتوافق مع مشاهدات الشمس. وتوصلوا إلى الاجابة نفسها - إن وجود الكمية الصحيحة من الوميئات يجعل النظرية تتفق مع المشاهدة، ولكن اتضح أن الطريقتين تكمل إحداها الأخرى.

لقد بدأت مجموعة الباحثين فى بولدر بالذبذبات، واختارت تلك التى تتوافق مع المشاهدات وعادت مرة أخرى لتكتشف الظروف فى قلب الشمس التى تخبرهم بها تلك الذبذبات، أما المجموعة الأخرى فى معهد تاتا فلقد بدأت بالصورة الجانبية لدرجة الحرارة التى تتوافق مع نموذج الوميپ، وقاموا بحساب نوع الذبذبات التى يمكن أن تنتجها، ووجدوا أن تلك الذبذبات تتوافق مع المشاهدات. وكان المفتاح فى كل حالة هو أن وجود الوميئات فى النموذج يخفض درجة الحرارة فى قلب الشمس دون حدوث تغيير فى تركيبه، أى دون اختلاط مكونات قلب الشمس بمكونات من خارجه، وبالتالي انخفضت سرعة الصوت أيضاً. ولأن تناول كل فريق كان مختلفاً، أعد فريق بولدر بحثه

على عجل لكي يُنشر في مجلة «نيتشر» أيضاً، بينما اتفق فولكنر وزملاؤه أن ينتظروا، بحيث ظهر البحثان جنباً إلى جنب في عدد ١٥ مايو ١٩٨٦. لكن كان ذلك أبعد من أن يكون نهاية هذه الإثارة التي تفجرت حول الوميضات.



شكل (٢ - ٧) يمثل هذا الرسم البياني الذي ابتكره فولكنر عنصراً رئيساً في البحث الذي أجراه. وقد أراد أن يوضح من خلاله مدى ملاءمة نظرية الوميض. في هذا الرسم، تم تمثيل نموذج الشمس القياسي بدائرة مفتوحة، على الخط المائل المطابق لدرجة حرارة مركزية تُقدر بـ ١٥ مليار كلفن. وهي تقع بالكاد ضمن المنطقة التي حددتها دراسات علم الزلازل الشمسية، وخارج المنطقة التي خصصتها دراسات النيوتريو الشمسي تماماً.

إن حيل النموذج القياسي «لحل» مشكلة النيوتريو الشمسي بتغيير التركيب المفترض للشمس، «إنقاص الفلزية» أو خلط الهليوم بشكل أكبر، تبعد النماذج عن تلك المنطقة المحددة بواسطة علم الزلازل الشمسية. نموذج الوميض (W) هو وحده الذي يقع تماماً في قلب المنطقة المحددة، طبقاً لكل من علم الزلازل الشمسية ودراسات النيوتريو.

لا تهتم كثيراً بالإحداثيات الغريبة التي اختارها فولكنر لجعل كل ما يثير الاهتمام في الرسم التخطيطي يحدث طبقاً لخطوط مستقيمة. (Tc) هي درجة الحرارة التي تم حسابها في مركز الشمس. (Mc) هو الوزن الجزيئي في مركز الشمس. الإحداثي السيني يتناسب مع مربع سرعة الصوت في قلب الشمس، أما الإحداثي الصادي فيتناسب مع مربع سرعة الصوت مضروباً في مربع درجة الحرارة.

انتصار الوييمب

شئ جيد للغاية أن تستخدم نظرية جديدة لتفسير لغز سبق لك معرفته - نقص النيوتريونات الشمسية، أو انقسام ترددات موجات الضغط، أو أيًا ما كانت - ولكن ذلك لا يبعث أبداً على الرضاء التام. إن أفضل اختبار لأية نظرية علمية هو عندما تتنبأ بشئ لم يسبق قياسه من قبل، وإن كان يمكن قياسه. فإذا ما أجريت القياسات الجديدة واتفقت مع التنبؤ، فإن هذه النظرية تكتسب مصداقية كبيرة. وفى نهاية ربيع ١٩٨٦، حانت اللحظة التى يتعين فيها على نظرية الوييمب أن تخطو تلك الخطوة العملاقة لتكون جديرة بالاحترام الكامل. ونتج كل ذلك من التعاون الذى تم فى بومباى، والذى كشف عن وجود نوع آخر من الذبذبات الشمسية.

إن الموجات على سطح البحر، أو تلك التى يمكنك أن تكونها فى حوض الاستحمام بتحريك الماء بعنف من جانب إلى آخر، ليست موجات ضغط، ولكنها تُعرف بأنها موجات جاذبية (g- modes)؛ لأن قوة الجاذبية هى التى تحدد مدى سرعة صعودها وسقوطها. وتحدث هذه الموجات عندما يكون هناك فارق فى الكثافة بين طبقتى سائل، مثل الفرق بين الهواء والماء، أو الفرق بين طبقتين داخل الشمس. لا بد أن مثل هذه الموجات تتكون فى أعماق الشمس، وأنها شديدة الحساسية للظروف فى تلك الأعماق. لكن هناك عقبة كبيرة غير متوقعة تواجه علماء الزلازل الشمسية الذين يريدون استخدام موجات الجاذبية لسبر قلب الشمس. فدروات موجات الجاذبية تتراوح بين ساعات وأيام، وهى مختلفة تماماً عن ذبذبات موجات الضغط التى لا تتجاوز دورتها خمس دقائق، ومعنى ذلك أنه يمكن دراسة هذه الموجات من الفضاء فقط، لأن الأجهزة على الأرض لا تستطيع رؤية الشمس ليلاً. وحتى مهمة التقاط هذه الموجات من الفضاء ليست سهلة. إذ رغم تأثيرها القوى فى قلب الشمس، إلا أنه يمتد على السطح بشكل ضعيف؛ حيث يكون تأثير هذه الموجات على حركة رقع سطح الشمس صغيراً جداً بالفعل.

رغم صعوبة تحديد هوية هذه الذبذبات - فهى أصغر بكثير من ذبذبات الدقائق الخمس الشهيرة - فإن عدة مجموعات من الباحثين كانت تسعى وراءها قبل نشر بحث فريق معهد تاتا. ويدرك الباحثون أنهم «إذا» تمكنوا من العثور على آثار موجات

الجاذبية، فمعنى ذلك أنهم وجدوا مفتاحاً مباشراً للغز تركيب الجزء الأكثر عمقاً من الشمس، لقد تنبأت النماذج القياسية بوجود سمة مميزة لموجة جاذبية يمكن تحديدها في طيف ذبذبات الشمس، وتبلغ دورة هذه الموجة حوالى ٣٦ دقيقة (*). لكن النماذج الشمسية التى صُممت لحل مشكلة النيوتريـنو، اعتمـاداً على اختلاط مكونات قلب الشمس بمكونات أخرى، عدلت هذه «الدورة» بحوالى ٤٠٪ أو أكثر، لتصل بها إلى حوالى ٥٦ دقيقة. وبثقة، ركز العلماء الذين كانوا يحاولون العثور على مثل هذه السمة في طيف الذبذبات الشمسية بحثهم على ذبذبة تنحصر «دورتها» بين أقل قليلاً من القيمة التى حددها النموذج القياسى، أى حوالى ٢٢ دقيقة، والقيمة التى حددتها النماذج المختلطة، أى ٥٦ دقيقة، بل وأطول أيضاً. غير أن فاهيا وجوخ وفولكنر كانوا قد أشاروا في بحثهم الذى نُشر في مجلة «نيتشر» إلى أن نموذج الويمپ يحدث التأثير المعاكس، كما في حالة موجات الضغط، وبالتالي فإن السمة المميزة لموجات الجاذبية لا بد أن تظهر عند حوالى ٢٩ دقيقة - وعلى حد علمهم لم يبحث أحد عند ذلك المدى أو حتى جمع بيانات.

وفي غضون ثلاثة أسابيع من ظهور عدد مجلة «نيتشر»، سمع فولكنر أن باحثاً مقيماً في سويسرا، هو كلوس فروهليك (Claus Frohlich)، وجد دليلاً على التأثير الذى تنبؤوا به، وقد ورد هذا الدليل في بيانات قديمة، سجلها قمر صناعى عام ١٩٨٠ كانت مهمته رصد الشمس. لم يعثر أحد من قبل على «دورة» مدتها ٢٩ دقيقة؛ لأن الباحثين (بمساعدة أجهزة الكمبيوتر) كانوا ينقبون فقط عن «دورات» أطول، واثقين أكثر من اللازم في النظرية القائلة بأنه يمكن حل مشكلة النيوتريـنو الشمسى بواسطة النماذج المختلطة! كان فروهليك قد قرأ البحث المنشور بمجلة «نيتشر» فبحث على الفور في البيانات المخزنة في الكمبيوتر عند «دورات» أقصر، وكانت الدورة الوحيدة التى وجدها هى التى تنبأ بها فولكنر وزميلاه على أساس نموذج الويمپ.

(*) فى الحقيقة، السمة المميزة ليست «دورة» حقيقية، لكن هى الفرق بين دورتين، كما فى حالة موجات الضغط، وتقنياً هى «الدورة المقاربة والمعايرة التى تفصل بين موجات الجاذبية ذات المرتبة الأعلى وتلك ذات المرتبة الأدنى منها». وأقدم اعتذارى للأصدقاء من علماء الفلك؛ لأننى سأستخدم الكلمة غير الدقيقة علمياً، كلمة «دورة»، وأضعها بين قوسين، كاختصار لتلك الجملة الطويلة.

وبكل أمانة، لم يكن هناك أكثر من مجرد تلميح إلى إمكانية التقاط «الدورة» من البيانات - لكن لم يكن هناك أية إشارة إلى وجود «دورة» أخرى، وكانت السمة المميزة بالضبط حيث تنبؤوا أن تكون. وبافتراض أن السمة المميزة حقيقية، فإن التحليل الأكثر تفصيلاً بين أن موجات الجاذبية تأثرت بالدوران عميقاً في قلب الشمس بالطريقة نفسها بالضبط التي تأثرت بها موجات الضغط (أى أن مجموعتي المشاهدات تخبرنا أن قلب الشمس يدور بالمعدل نفسه). ومجموعتا البيانات مستقلتان تماماً، حيث تم الحصول عليهما من خلال أجهزة مختلفة (واحدة على الأرض والأخرى في الفضاء)، وباستخدام تقنيات مختلفة لدراسة نوعين مختلفين من الذبذبات (موجات ضغط وموجات جاذبية) ولكل منهما مدى دورى مختلف تماماً (حوالى خمس دقائق مقابل عدة ساعات). وبالرغم من كل ذلك، كانت «الإجابات» التي حصل الباحثون عليها من خلالهما واحدة. إن نموذج الويمپ هو النموذج «الوحيد» للشمس الذى يفسر فى آن واحد تلك التفاصيل الخاصة بطيف الذبذبات الشمسية، و«يحل» مشكلة النيوترينو.

هناك علماء فلك - أو عدد كبير منهم - مازالوا غير مقتنعين بنموذج الويمپ، ويفضلون على الأقل الوقوف على الحياد حتى تكتمل المرحلة التالية من عمليات رصد الشمس. لكن ثقل الدليل القائل بأن وجود جسيمات غير معلومة من قبل هو الذى يحتفظ بقلب الشمس عند درجة حرارة أقل، وأن عدد هذه الجسيمات هو واحد لكل مائة مليار بروتون داخل الشمس، وأن كتلة هذا الجسيم تتراوح بين أربعة إلى ستة أضعاف كتلة البروتون - أصبح الآن أكثر من مجرد دليل عرضى، ولم يعد «مجرد فكرة غريبة أخرى». أما الذين مازالوا يفضلون الانتظار حتى يتأكدوا، فإنهم لن ينتظروا طويلاً، لأن الجيل التالى من الأجهزة التى صُممت لمراقبة الذبذبات الشمسية طوال ٢٤ ساعة يومياً ولعدة سنوات بدأ العمل بالفعل.

اختبار الـ «جونج»

المشكلة الكبرى التى تواجه محاولة علماء الفلك تحسين مشاهداتهم للذبذبات الشمسية هى دوران الأرض؛ حيث تتأثر عمليات الرصد التى تتم من موقع ما على

الأرض بدورة الليل والنهار. ولأن الذبذبات الشمسية صغيرة للغاية، يتعين تجميع مجموعات طويلة من بيانات الرصد معاً وتحليلها للكشف عن الترددات الدورية البالغة الصغر. وإذا كنت مقيداً بمراقبة الشمس من موقع واحد على الأرض بأحد المراصد الكبرى، فإن الطريقة الوحيدة لعمل ذلك هي تجميع بيانات أيام مختلفة معاً، مع مراعاة الجمع بين السجلات بحيث تظل الذبذبات محل الدراسة في توافق طوري، كي لا يلغى بعضها بعضاً. لكن مثل هذه المجموعات «الاصطناعية» الطويلة من البيانات المسجلة لعدة أيام معاً، تحتوى «إشارات» مزيفة نتيجة فجوات الليل - فإيقاع الإشارات ليس ٢٤ ساعة فقط، وإنما يتضمن العديد من الترددات التوافقية المشتركة مع ذلك التردد الأساسى. وهذه الإشارات ظهرت في تحليل فورييه وشوشت الصورة؛ مما جعل من الصعب على الباحثين أن يتأكدوا أى الدورات تمثل ذبذبات شمسية حقيقية وأياً من صنع الإنسان.

هناك ثلاث طرق للتحايل على هذه المشكلة، وعالجت مجموعات مختلفة من الباحثين هذه الطرق مع اقتراب التسعينيات من القرن العشرين. فلقد حاول فريق فرنسى - أمريكى مشترك إجراء عمليات رصد من القطب الجنوبى فى الصيف، حيث لا تغرب الشمس أبداً، ونجحت الفكرة - وحصل الفريق على فترة رصد استمرت خمسة أيام متصلة بدون سُحب، لكن ظروف العمل فى القطب شاقة حتى فى الصيف، كما أن الظروف المناخية رديئة بحيث كانت فترة الأيام الخمسة، بدون سحب، أفضل ما يمكن الحصول عليه من عملية رصد مستمرة.

أما الطريقة الثانية فهي الرصد من الفضاء، بواسطة قمر اصطناعى يمكنه مراقبة الشمس بشكل مستمر من مداره. وقد استُخدم هذا الحل فى مهمة أُطلق عليها اسم «مهمة الحد الأقصى الشمسية»، والتي أيدت بياناتها تنبؤات فريق معهد تاتا. كما يتم التحضير لمهمة مشتركة بين وكالة الفضاء الأوروبية والناسا، سُميت «المركز الشمسى للهندسة الكروية الشمسية» (SOHO) (*)، وخطط لها أن تنطلق فى عام ١٩٩٥، بحيث يحمل القمر جهازاً لمراقبة ذبذبات الشمس، ومن المفترض أن يرسل إلى الأرض بيانات لعدة سنوات.

ولكن حتى قبل إطلاق هذا المرصد، كان من المفترض استخدام التقنية الثالثة تلقائياً، وهى إجراء عمليات رصد للشمس من مواقع مختلفة حول العالم، وتجميع القياسات للحصول على تسجيل متصل يمتد لعدة سنوات. هناك ثلاثة مشروعات من هذا القبيل يجرى حالياً تنفيذها، وسوف أذكر واحداً فقط منها بشكل أكثر تفصيلاً. يُعرف هذا المشروع «بمجموعة شبكة التذبذب الكروى»، أو الـ (GONG) (*). ويحتاج الأمر مبدئياً إلى ثلاثة مواقع مراقبة على الأقل، موزعة حول العالم بحيث تفصل بينها ١٢٠ درجة من خطوط الطول، وسماء صافية بلا غيوم، وأدوات وأجهزة لا تتعطل أبداً. وعملياً، تضمنت «جونج» ستة مواقع على امتداد العالم متساوية البعد فيما بينها بقدر الإمكان.

وبينما أكتب هذه السطور فى عام ١٩٨٩، هناك عشرة مواقع تم اختيارها: موقعان فى هاواى وموقعان فى كاليفورنيا وموقع فى أريزونا وموقعان فى شيلى وموقع فى كل من جزر الكنارى والهند وغرب أستراليا، هذا بالإضافة إلى «جهاز مرجع» فى المرصد الشمسى القومى بالولايات المتحدة الأمريكية بولاية أريزونا. والذى يُعتبر المعهد الأم للمشروع.

وفى كل موقع، يوجد جهاز أتوماتيكي للتصوير فتحتة خمسون مليمتراً، يلتقط كل دقيقة لقطة للشمس (حجم هذه الأجهزة متواضع جداً، حتى إن علماء الفلك يعارضون فى تسميتها «تلسكوبات» - فهى أقرب ما تكون لعدسات آلة التصوير). وتشبه فلسفة تصميم تلك الأجهزة فلسفة المهام الفضائية - يختار الفريق أداة قوية، ذات مخاطر تقنية منخفضة تعمل دون مساعدة من أى فئى بشري. ويجب أن ينظر إلى الشمس جهازان فى كل وقت، لتفادى احتمال حدوث أعطال أو ظهور سُحُب. ويقيس كل جهاز سرعات رقع الشمس وهى تتحرك إلى الداخل والخارج باستخدام أداة تُسمى تاكوميتر فورييه، وهى مقياس للسرعة الزاوية، ويمكنها قياس الزحزحة الحمراء والزرقاء بدقة تصل إلى جزء من المليار.

وتجرى أجهزة الـ «جونج» هذه القياسات عند ٦٥ ألف نقطة عبر سطح الشمس فى آن واحد، وتنتج كمية هائلة من البيانات التى يتعين تخزينها ومعالجتها (فى البداية تم

التخزين على أشرطة، ثم على أسطوانات ضوئية بعد ذلك). لن أتحدث بالتفصيل عن قوة الكمبيوتر المطلوبة لهذا العمل - لكن بالطبع لم تكن هناك ميزة في القيام بعمليات رصد من هذا النوع في السبعينيات من القرن العشرين، طالما أن أجهزة الكمبيوتر في ذلك الوقت لم تكن تستطيع تحليلها (وأحد أسباب تخزين البيانات في أسطوانات ضوئية هو الأمل في أن يصبح لدى علماء القرن الواحد والعشرين تقنيات للتحليل أفضل من المتاح الآن). وكان من المفترض أن يكتمل تشغيل الشبكة بالكامل خلال عام ١٩٩١، وهي ممولة للعمل لمدة ثلاث سنوات. وتنتج هذه الشبكة، التي يعمل بها أكثر من ١٥٠ عالماً من ٦١ مركز أبحاث في ١٥ بلداً مختلفاً، كمية بيانات يومية تُقدر بواحد جيغا بيته (*). ولا بد أن ذلك كافٍ لحل قضية اتفاق الذبذبات بالفعل مع تنبؤات نظرية الويمپ. لكن بالطبع لن تكون تلك هي النتيجة الوحيدة المهمة لمشروع الـ «جونج» - إذ إن دهشة أغلب علماء الفلك ستكون كبيرة إذا لم تطرح عمليات الرصد الحديثة تلك مفاجآت جديدة وغير متوقعة وتثير ألباباً يتعين حلها خلال السنوات القادمة، كما حدث مع كل تقنية رصد جديدة، ابتداءً من تلسكوب جاليليو إلى علم الفلك اللاسلكي وأقمار الأشعة السينية التي طرحت مفاجآت غير متوقعة عن الكون. كما سيُصاب أغلب علماء الفلك بالإحباط إذا لم يتوافر التمويل اللازم لاستمرار مشروع «جونج» لمدة دورة شمسية كاملة على الأقل، أي أحد عشر عاماً، بحيث يمكننا مشاهدة كيفية تغير الذبذبات الشمسية لو كانت تتغير أصلاً - مع انتقال الشمس عبر دورة نشاطها الكاملة.

وأنا شخصياً سيصيبني الإحباط إذا لم يصبح نصف هذا الكتاب كتاباً تاريخياً بعد عقد من الآن. فخلال السنوات العشر القادمة ستمدنا «جونج» و«سوهو» وعمليات الرصد الأخرى بصورة جديدة تماماً عن عمل الشمس أقرب النجوم إلينا، صورة مرسومة باهتمام غير مسبوق بالتفاصيل. وليس مهماً أي النظريات هي الصحيحة، وإنما المهم هو أننا على أعتاب اكتشاف قدر من أسرار الشمس الداخلية أكبر مما اكتُشف طوال السنوات السابقة حتى الآن. والشئ الأكثر إثارة بالنسبة لنظرية الويمپ، والأدلة حتى الآن تدل على أنها في الاتجاه الصحيح، هو أنها تربط تلك الاكتشافات الجديدة المتوقعة بكل من الكون بشكل عام وعالم الجسيمات الأولية التي لا تُرى

(*) مليار بيته.

بالمجهر - بينما تتيح إمكانية بناء أنواع جديدة من أجهزة الرصد أرخص بكثير من «جونج» و«سوهو»، ويمكن إقامتها في معامل فردية على الأرض، ويكون بإمكانها أن تكشف لنا ليس فقط أكثر الأسرار الداخلية والدفينة للشمس، ولكن أيضاً المصير النهائي للكون نفسه.

الفصل الثامن

الكبير والصغير

إن أكثر التطورات إثارة فى مجال الفيزياء النظرية خلال عقد الثمانينيات من القرن العشرين كانت الطريقة التى أجبرت كلاً من علماء فيزياء الجسيمات والكوزمولوجيا - أو علم الكونيات - على توحيد مواهبهم من أجل تحسين وصفهم للعالم حولنا. والمنظرون فى مجال فيزياء الجسيمات عندما كانوا يحاولون تطوير النظرية الموحدة المحيرة التى سوف تفسر سلوك كل جسيمات وقوى الطبيعة فى حزمة رياضية واحدة، وجدوا أنفسهم مضطرين إلى تأمل تداعيات العمليات التى تجرى عند مستويات طاقة أكبر بكثير من أى شىء يمكن إنجازها اصطناعياً، فى مسارعاتهم هنا على الأرض، ولا حتى فى قلب نجم مثل الشمس. فالمكان الوحيد لحدوث التفاعلات التى يصفها المنظرون كان الانفجار العظيم الذى ولد منه الكون منذ حوالى ١٥ مليار سنة مضت. وبالتالي، تصبح آخر نظريات فيزياء الجسيمات موضع «اختبار» باكتشاف ما إذا كان نوع التفاعلات التى يصفونها يمكن أن ينتج نوع الكون الذى الذى نعيش فيه. إن تحسين فيزياء الجسيمات يساعد علماء الكونيات على تطوير فهم أفضل للكيفية التى نشأ بها الكون، ومن ناحية أخرى فإن تحسين عمليات الرصد الكونية بصورة عامة يساعد على وضع الحدود لتصورات الأحداث التى وقعت فى الانفجار العظيم، مما يقيد بعض التخمينات الغريبة لمنظري فيزياء الجسيمات.

وفى الوقت نفسه، وجد علماء الكونيات أنفسهم فى حاجة، كما سبق أن أشرت، إلى أن يكون فى الكون كمٌّ من المادة أكبر مما تراه العين. ويتضح من خلال الدراسات

الخاصة بأسلوب حركة المجرات أو جماعات المجرات، ومن خلال قياسات معدل تمدد الكون نفسه، أن هناك «مادة معتمة» في الكون تُقدر كميتها بعشرة أضعاف كمية النجوم المضيئة والمجرات على الأقل، بل يمكن أن تبلغ مائة ضعف، وأن هذه المادة المعتمة تمارس قوة جاذبيتها تأثيراً على الأجسام المضيئة.

إن حسابات الظروف في الانفجار العظيم، والتي جمعت بشكل مثمر للغاية جهود فيزياء الجسيمات وعلم الكونيات، أثبتت بدون أى شك منطقي، أن هذه المادة المعتمة لا يمكن أن تكون كلها في شكل ذرات مثل التي تتكون منها الشمس والنجوم والكواكب. فالمادة المضيئة في الكون تتكون أساساً من بروتونات ونيوترونات (التي تكون أغلب كتلة الذرات)، وتخبرنا قوانين الفيزياء بكمية هذا النوع من المادة التي يُحتمل أنها تكونت في الانفجار العظيم (وتُعرف هذه المادة بالباريونات). ويتفق الحد الأقصى لكمية هذه المادة تقريباً مع كمية المادة في كل النجوم والمجرات الساطعة - وهي صدفة خدعت علماء الفلك لعقود طويلة، إذ جعلتهم يعتقدون أن النجوم والمجرات هي بالفعل المادة الوحيدة في الكون. أما الآن، وقد أصبح هناك دليل يفرض نفسه على وجود تأثير لمادة معتمة إضافية، فإن الخلاصة التي لا مفر منها هي أن أغلب هذه المادة المعتمة - الجزء الأكبر من مادة الكون - ليست في شكل الجسيمات المكونة للذرة مثل البروتونات والنيوترونات، وإنما يجب أن تتكون من جسيمات لم يتم رصدها بعد على الأرض.

وكان ذلك بالطبع الأساس المنطقي للمحاولات الأولى لحل مشكلة النيوتريـنو الشمسى بدراسة تأثيرات الويـمـيات على تركيب الشمس. ليس هناك ميزة في اختراع جسيم «جديد» لمجرد تفسير ندرة النيوتريـنات الشمسية. ولكن إذا كان علم الكونيات «يتطلب» وجود جسيمات إضافية، فمن الطبيعي دراسة إمكانية تأثير هذه الجسيمات على سلوك النجوم. وفي الواقع، تتطلب كل النظريات الموحدة التي طورها منظرو فيزياء الجسيمات وجود أنواع إضافية من الجسيمات في الكون. هذه المتطلبات هي نتيجة النظريات التي وُضعت بمنأى عن الدراسات الكونية الخاصة بكيفية تحرك المجرات، يحتاج علم الكونيات، إلى مادة إضافية، على ألا تكون في شكل باريونات (بروتونات ونيوترونات)، لتفسير كيف تتحرك الأجسام في الكون، بينما يحتاج علماء فيزياء الجسيمات، إلى جسيمات إضافية، ليست في شكل باريونات لكي تُكـلـل محاولة النظريات الموحدة بالنجاح. والمنظرون الذين يدرسون أكبر الأجسام القابلة للرصد

(المجرات) وأولئك الذين يدرسون أصغر الوحدات المعروفة (الجسيمات الأصغر من الذرة) توصلوا، كلٌّ على حدة، إلى أنهم بحاجة لنوع من المادة الجديدة كي تتوافق كل الأمور معاً، ويمثل ذلك إشارة قوية على أن الفريشيتين يعملان في الاتجاه الصحيح. إنها صدفة مثيرة، أن يكون نوع الجسيم الذى يلبي احتياجات المنظرين الذين يعملون مع الأجسام الكبيرة جداً هو نفس الجسيم الذى يلبي حاجة من يعملون مع الأجسام المتناهية الصغر ويحل أيضاً أبرز لغز خاص بالشمس.

لكن الجسيمات المفترض أنها ستجعل النظريات الموحدة تنجح لن تؤثر كلها على داخل الشمس بالطريقة السليمة لحل لغز النيوتريـنو، كما أن الجسيمات التى يحتاجها علماء الكونيات لتمامك الكون قد لا تتفق مع وصف الويمبات الذى ورد فى هذا الكتاب. وبدلاً من جسيمات لكل منها كتلة تساوى تقريباً خمسة أضعاف كتلة البروتون، يمكن أن يكون هناك بالتماثل عدد أكبر من جسيمات أقل كتلة، أو حتى عدد صغير نسبياً من جسيمات ذات كتل كبيرة «جداً». لقد وضعتُ بالتفصيل فى كتابى «نقطة أوميغا» (The Omega Point) الدليل على أن الكون يجب بالفعل أن يحتوى على مادة معتمدة، كما وصفت بالاشتراك مع مارتين ريس فى كتاب «صدف كونية» (Cosmic Coincidences) التنوع الضخم للمرشحين المحتملين لتكوين المادة المعتمدة، ويجرى حالياً دراستها بشكل فعلى.

لكن لا يمكن أن يكون كل هؤلاء المرشحين موجودين فى الكون الحالى، ولما كان من الضروري حل مشكلة النيوتريـنو الشمسى بأى شكل، فإننى أريد أن أركز هنا فقط على النسبة الصغيرة من هؤلاء المرشحين التى تقدم حلاً أيضاً لتلك المشكلة. إذا كانت فيزياء الجسيمات تخبرنا بضرورة وجود تنوعات «إضافية» من الجسيمات فى الكون، فإن علم الكونيات يقول لنا الشئ نفسه، وتبين الدراسات الشمسية أن بعض المرشحين لتلبية «كل من» الاحتياجات الكوزمولوجية واحتياجات فيزياء الجسيمات يمكنهم أيضاً حل لغز النيوتريـنو، وأبسط الافتراضات وأكثرها اقتصاداً هو أن ذلك النوع من الويمب قد يكون حقاً أهم مكون للمادة المعتمدة. وربما توجد أيضاً جسيمات أخرى للمادة المعتمدة - جسيم خفيف جداً يُسمى الأكسيون (AXION)، ويُعد وجوده شبه مؤكد، إذا كانت النظريات الموحدة على الطريق السليم، كما يُحتمل أن يكون بعض المادة المعتمدة فى شكل باريونات (بما يساوى كمية المادة التى نراها فى النجوم والمجرات الساطعة). لكن ٨٠٪

على الأقل من كتلة الكون ليست فى شكل باريونات، وإن جزءاً كبيراً من تلك النسبة يمكن أن يكون فى شكل ويمبات ذات كتل تُقدر بحوالى خمسة أضعاف كتلة البروتون - كيف لنا أن نأمل فى رصد الويمبات، إلا عن طريق تأثيرها على الشمس، ومن خلال الجذب الخفى لقوة جاذبيتها؟

المرشحون

لقد كانت النيوتريونات نفسها ذات مرة مرشحة للمادة المغممة، ففى أبحاث فولكنر وجيليلند المبكرة فى السبعينيات من القرن العشرين عن تأثير الجسيمات ذات الكتلة الكبيرة داخل الشمس على تدفق النيوترينو الشمسى، افترضوا وجود نوعية ثقيلة من النيوترينو. وكان السبب فى ذلك بالدرجة الأولى، أن العلماء فى السبعينيات لم يكونوا معتادين بعد على فكرة احتمال وجود تنوعات مختلفة تماماً من الجسيمات حولنا - لقد كانوا يعلمون أن النيوتريونات موجودة. وبالتالى كان من الطبيعى أن يحاولوا تصور نيوتريونات تناسب المتطلبات الفلكية. غير أن هذا الافتراض لم يصمد لمزيد من البحث.

فى عام ١٩٨٧، تلقى علماء الفيزياء الفلكية الهدية التى تمثلت فى نبضة نيوتريونات قادمة من سوبرنوفافى مجرة سحابة ماجلان الكبرى المجاورة لمجرتنا. وطبقاً لنظرية الفيزياء الفلكية، تنتج السوبرنوفافى 10^{10} نيوتريونات إلكترونية، أى عشرة أضعاف العدد الإجمالى للإلكترونات والبروتونات والنيوترونات داخل الشمس. وقدر العلماء أن حوالى ٣٠٠ تريليون (3×10^{10}) من تلك الجسيمات مرت عبر مكشاف على الأرض يبلغ حجمه سبعة آلاف متر مكعب، ويديره فريق مشترك من جامعات إيرفين وميشجان وبروك هافن؛ ولذلك سُمى فريق إى. إم. بى. ومن ذلك الفيزيائى من الجسيمات، سجل مكشاف إى. إم. بى وصول ثمانية نيوتريونات فقط، بفواصل زمنية بين كل منها قدره ست ثوانٍ، إذا كان للنيوتريونات كتلة، كما سبق توضيح ذلك فى الفصل الرابع، فإن من يتمتع منها بطاقة أكبر سينتقل بشكل أسرع ويصل إلى المكشاف قبل غيره، أما إذا لم يكن للنيوتريونات كتلة، فسوف تنتقل بسرعة الضوء، مثل الفوتونات، وستصل معاً (بافتراض أنها بدأت رحلتها معاً). وكما أوضحت سابقاً، حاول باحثون آخرون تقدير كتل النيوتريونات بدراسة الدلالات الضمنية لأزمة وصول النيوتريونات من السوبرنوفافى إلى أجهزة الرصد المختلفة على الأرض. لكن ماذا يحدث إذا نظرنا لبيانات إى. إم. بى.

فقط، وافترضنا أن سبب كل ما تم رصده هو وصول نيوتريونات إلكترونية، ونتجاهل الباقي؟ إن قياسات انتشار تلك النبضة من النيوتريونات على أزمنة وصولها من السوبرنوفات تبين استحالة أن تزيد كتلتها عن عشرة إلكترونات فولت، بل يرجح أن تكون أقرب إلى ثلاثة إلكترونات فولت، إن لم يكن لها كتلة على الإطلاق. إن وحدات الإلكترون فولت، صغيرة جداً، ومن ثم تكون الكتلة المفترضة صغيرة للغاية أيضاً - حيث تكافئ كتل الإلكترون إجمالي كتل ١٥٠ ألفاً من هذه النيوتريونات. وتؤثر هذه التوقعات بشكل مباشر على مشكلة النيوتريو الشمسي، وذلك بطريقتين.

أولاً، إذا كان افتراض ثلاثة إلكترونات فولت (أو حتى عشرة إلكترونات فولت) صحيحاً، فإن ذلك يعنى وفقاً لحسابات راماناثان كوسيك (Ramanathan Cowsik) التى تم شرحها فى الفصل الرابع، أن الكتل كبيرة «جداً» بما لا يسمح بنوع ذبذبات النيوتريو التى اقترحها بعض المنظرين لحل اللغز (تأثير MSW). ثانياً، لا تستطيع النيوتريونات ذات الكتلة الصغيرة جداً أن توفر بأية حال المادة المعتمة التى يتطلبها علماء الكوزمولوجيا، وبذلك يُترك المدى واسعاً لجسيمات غير معلومة لتملأ الثغرة. وفى الحالتين، جعلت دراسات نيوتريو السوبرنوفات قضية الوميئات تفرض نفسها بشكل أكبر.

إن ذلك لا يعنى استحالة أن يتنكر نوع آخر من النيوتريو فى شكل ويمب. وتذكر، أنه قد ثبت وجود ثلاثة أنواع من النيوتريونات: النيوتريو الإلكتروني، والنيوتريو المرتبط بجسيم التو، والنيوتريو الميوني، أى المرتبط بجسيم الميون. ولكن لا يوجد من بين الأنواع الثلاثة من لديه كتلة تكفى كى يكون الوميپ الذى نبحث عنه. غير أن هذا التثليث ترتيب ملائم جداً ينسجم بإحكام ضمن إطار أكثر النظريات الموحدة قبولاً، ويبدو أنه يربط «عائلات» النيوتريو الثلاث بتتويجات من الجسيمات الأساسية تُعرف بالـ «كواركز». ويفترض وصف فيزياء الجسيمات وعلم الكوزمولوجيا لما حدث فى الانفجار العظيم، ضرورة وجود ثلاث فقط من هذه العائلات، لكن هناك تفاوتاً مسموحاً به فى تلك الحسابات يسمح باحتمال وجود نوع رابع من النيوتريو - هناك تشكك واسع فى أى تنبؤات عن طبيعة مثل هذا الجسيم تسمح بإمكانية أن يكون له كتلة تُقدر بحوالى خمسة أضعاف كتلة البروتون. إن افتراض هذا الجيل الرابع من النيوتريونات كمرشح للوميپ يعكس سداجة بالغة، لكنه ليس محظوراً تماماً فى ظل

المحصول الحالى لنظريات الجسيمات أو فهمنا للانفجار العظيم^(*). غير أن العثور على مرشحين أكثر قبولاً ليس بالأمر الصعب.

لقد ذكرت فى الفصل الخامس طريقة للحصول على الويمبات - وهى المفضلة بالنسبة لى. نحن نعلم أن عدم التماثل فى قوانين الفيزياء سمح بإنتاج باريون واحد (بروتون أو نيوترون) لكل مليار فوتون («جسيمات» الضوء) التى انبعثت من الانفجار العظيم. وإذا كان هناك نوع آخر من الجسيمات له كتلة تتراوح بين خمسة وعشرة أضعاف كتلة البروتون وتم إنتاجه أيضاً بالطريقة نفسها، وطبقاً لنفس عدم التماثل، ومع نسبة مليار إلى واحد نفسها؛ فقد يكون هناك ويمب واحد فى الكون لكل باريون (بروتون أو نيوترون). وفى مجرة مثل مجرتنا، فإن كتلة كل الويمبات مجتمعة ستقدم بالضبط تفسيراً لطريقة حركة النجوم، وربما تترك فرصة ما لمزيد من المادة المعتمدة فى الكون فى شكل نيوتريانات خفيفة أو أكسيونات، ذلك الجسيم المغرم به علماء الفيزياء.

أما الطريقة الأخرى الممكنة للحصول على الويمبات، فتتعلق «بالتماثل» وليس «عدم التماثل». هناك دائماً فى قوانين الفيزياء نوع من التماثل كما بين المادة (الإلكترونات وبروتونات وما يماثلها) والمادة المضادة^(**) (النيوترونات والبروتونات المضادة، وهلم جراً)، وتفترض الأفكار الحديثة عن العلاقة بين الجسيمات والقوى ضرورة وجود نظير لكل نوع من الجسيمات نعرفه. إن بعض الجسيمات، مثل الفوتونات، تقوم بالفعل بمهمة نقل القوى فى عالمنا. فالفوتونات تحمل القوى الكهرومغناطيسية، وتنقلها ويحمل الجرافيتون قوة الجاذبية، وهكذا إلى آخره. أما الجسيمات الأخرى مثل النيوترونات والبروتونات، فهى كتل من المادة وإن كانت تتأثر بالقوى إلا أنها فى حد ذاتها لا تنقل قوة. وكجزء من بحثهم من أجل النظرية الموحدة لتفسير القوى والجسيمات فى حزمة واحدة، يدرك علماء الفيزياء الحاجة إلى التماثل بين الاثنتين، وإن ذلك يتحقق على أكمل وجه بأن تُخصص لكل نوع من الجسيمات قوة ناقلة «جديدة» تصاحبه، ولكل نوع من القوى الناقلة جسيم جديد يصاحبها.

(*) فور كتابة هذه الكلمات فى نهاية عام ١٩٨٩، أعلن علماء الفيزياء فى CERN أن قياسات جديدة تقصر بشكل نهائى عدد أنواع النيوتريانات المثلثة على ثلاثة أنواع. وإذا صمدت هذه النتائج الجديدة للفحص الدقيق، كما يبدو، فإن ذلك يخلق للأبد هذا المنفذ الخاص.

(**) المادة المتكونة من جسيمات مضادة.

إن ذلك ليس شيئاً بالقدر الذى يبدو عليه، طالما أن نوعية واحدة من كل تلك المجموعة من الجسيمات الجديدة يجب أن تكون ثابتة ومستقرة. ففى ذلك النظام، تنحل كل الجسيمات الثقيلة الجديدة إلى جسيمات أخف وزناً على التوالى، باستثناء أخفها جميعاً الذى لا يمكنه التحول إلى شئ آخر. ولأسباب جلية، تُعرف هذه النظرية بنظرية التناظر الفائق. وتتنبأ هذه النظرية بوجود نوعية واحدة فقط من الجسيمات غير معروفة من قبل فى كوننا بشكل عام، وهى «الشريك فائق التناظر الأخف»، أو LSP. وأقرب مرشح لهذا الجسيم هو نظير الفوتون الذى لُقِّب بالفوتينو (Photino). وتتنبأ نظرية التناظر الفائق «بشكل مستقل تماماً» عن أى من الاعتبارات الكوزمولوجية الخاصة بالمادة المظلمة، أو التخمين بأن وجود الويمبات فى قلب الشمس يمكن أن يحل مشكلة النيوتريно الشمسى، بأن الفوتينو ستكون له كتلة تزيد بعدة أضعاف عن كتلة البروتون، وأنه سيتفاعل بشكل ضعيف مع المادة العادية، ومن ثم فإن الفوتينو، إذا وُجد بالفعل، يكون هو بالضبط الويمپ الذى تحدث عنه.

وحتى لو كان علماء الكوزمولوجيا ليسوا تواقين للعثور على المادة المظلمة لتفسير كيف تتحرك النجوم والمجرات، وحتى لو لم تكن هناك مشكلة نيوتريно شمسى يتعين حلها، يجب أن يكون علماء فيزياء الجسيمات فى لهفة لإجراء تجارب عملية لرصد الويمبات، وبوجود ثلاثة أسباب تفرض البحث عن الويمپ، يصعب الاندهاش من أن مثل هذه التجارب تخرج حالياً من مرحلة التخطيط إلى التنفيذ.

كيف تلتقط الويمپ الخاص بك

إذا كان بإمكان الويمبات أن تقدم الحل لتلك المشكلات المنفصلة لعلوم الكوزمولوجيا والفلك والفيزياء، فإنه يتعين وجودها بوفرة تتيح العثور عليها. إن متوسط كثافة مثل هذه المادة المظلمة فى الجزء الخاص بنا من المجرة يجب أن يكافئ كتلة بروتون تقريباً فى كل ثلاثة سنتيمترات مكعبة من الفضاء. وإذا كان كل جسيم ويمپ له كتلة تُقدر بحوالى خمسة أضعاف كتلة البروتون، فيجب أن يكون هناك ويمپ واحد فى كل سم^٢ من الفضاء. ولا يُقصد بذلك «الفضاء الخارجى الخالى» فوق الغلاف الجوى للأرض، ولكن هذا العدد من الويمبات يمر عبر الغرفة التى أجلس فيها وأنا أكتب، وعبر جسمك وأنت تقرأ هذه الكلمات، وعبر كل معامل الفيزياء على الأرض، وطبقاً لهذا الوصف الدقيق فإن كل لتر من الهواء حولك، يحتوى بالفعل ما بين ستين إلى سبعين من الويمبات.

ويتحرك كل ويمپ بسرعته الخاصة المستقلة عبر المجرة - غير أنه مستقل فقط حتى حد معين، فإن حركة الويمپ مثلها مثل حركة الكواكب التى تدور حول الشمس والنجوم التى تدور حول المجرة، بل وجزيئات الهواء فى الغلاف الجوى للأرض، فإنها جميعاً محكومة بقوة الجاذبية. إن متوسط سرعة الأجسام الخاضعة لقوة جاذبية نظام درب اللبانة ككل والتى تدور على بعد المسافة نفسها تقريباً التى تفصل نظامنا الشمسى عن مركز درب اللبانة، واحدة أيا كانت كتلة هذا الجسم، سواء أكان بروتوناً أم نجماً - وهى لا تزيد على واحد على ألف تقريباً من سرعة الضوء، أى حوالى 300 كم/ث . وتقدر سرعة دوران الشمس والنظام الشمسى حول المجرة بحوالى 220 كم/ث ، وذلك بالنسبة لمدار دائرى، وهى تقريباً نفس سرعة الويمپ فى الجوار حولنا، لأن النظام الشمسى يجب أن يخضع لنفس قانون الجاذبية. لكن الويمپات تستطيع أن تتحرك فى أى اتجاه، وليس فى مدارات دائرية، ومن ثم فإن مدى سرعتها النسبية بالنسبة للأرض، يمتد من صفر (بالنسبة للويمپات التى تتحرك حول المجرة بالطريقة نفسها التى نتحرك بها) إلى حوالى 500 كم/ث (بالنسبة للويمپات التى تتحرك فى الاتجاه المعاكس مصطدمة رأساً معنا).

ومع أن ذلك يوحى بأن أعداداً كبيرة من الويمپات تتحرك بسرعات كبيرة جداً، فإننا نحصل على منظور مختلف إذا قارننا تلك الأعداد بأعداد جزيئات الهواء نفسه. فعلى سبيل المثال، يوجد الأكسجين فى الهواء فى شكل جزيئات يتكون كل منها من ذرتين من الأكسجين، وبالتالي فإن كل جزيء له كتلة تُقدر بحوالى ٣٢ ضعف كتلة البروتون - أى أكبر عدة مرات من كتلة الويمپ. وتضم كتلة من الأكسجين تُقدر بحوالى ٣٢ جراماً أكثر من ٦٠٠ ألف مليار مليار جزيء، أى (6×10^{23}) ، ثابت أفوجادرو). وهناك «عدة» مليارات من الذرات والجزيئات العادية التى نتعامل معها يومياً، فى الحجم نفسه من الهواء الذى يمكن أن نجد فيه حوالى مائة ويمپ تقريباً، وكتلة كل واحدة من هذه الذرات والجزيئات أكبر من كتلة الويمپ. وتتحرك تلك الجزيئات نفسها بسرعة كبيرة - سرعة جزيئات الأكسجين فى الهواء الذى نتنفسه حوالى 500 متر/ث - وإن كانت ليست فى سرعة العديد من الويمپات. لكن على نقيض جزيئات الهواء تلك، فإن الويمپات لا تشارك فى التفاعلات اليومية التى تدخل فيها الكهرومغناطيسية. إنها تتفاعل بشكل ضعيف مع مادة الحياة اليومية التى تكون شفافاً تقريباً للويمپات، كما هى كذلك بالنسبة للنيوترينات.

إن القوى الكهرومغناطيسية، من بين أشياء أخرى، هي التي تُكسب الأجسام الصلبة صلابتها. أن الذرة تتكون من نواة متناهية الصغر تحيط بها سحابة أكبر بكثير من الإلكترونات، وهذه الإلكترونات هي التي تتفاعل مع إلكترونات الذرات الأخرى في الجسم الصلب لتثبت الذرات في مكانها في نظام شبكى ثابت. يعنى إنه ثابت، بقدر ما تكون الذرات والجزيئات الأخرى معنية. فعندما أضربُ على مفاتيح جهاز الكمبيوتر بأصابعى عند طبع هذه الكلمات فإن أصابعى لا تخترق لوحة المفاتيح؛ لأن الإلكترونات المحيطة بالذرات في أطراف أصابعى تَلْقَى مقاومة من الإلكترونات المحيطة بالذرات في المفاتيح. إن النواة المدفونة عميقاً داخل تلك الذرات لا تشارك مباشرة في هذه العملية على الإطلاق - إن حجم النواة مقارنة بسحابة الإلكترونات يكافئ تقريباً حجم حبة بازلاء في وسط قاعة موسيقى. فعلى سبيل المثال، سيتناثر جزيء أكسجين مع قطعة رصاص؛ لأن سحابة إلكترونات الأكسجين تتفاعل مع إلكترونات الذرات على سطح الرصاص، في حين أن الومب لن يلاحظ وجود الإلكترونات، إن أى ويمب يصل إلى سطح قطعة الرصاص سيشق طريقه بسعادة عبر سُحُب الإلكترونات، غير مكترث بها مثل قذيفة مدفع تتحرك عبر الضباب. سوف «يُلاحَظ» وجود الرصاص في حالة واحدة، إذا توجه رأساً إلى «النواة»، وهو أمر نادر الحدوث، وإن كان غير مستحيل. إن أجهزة رصد الومب التي صُممت ونُفذت في الوقت الراهن تهدف إلى الاستفادة من مثل هذه الحالات النادرة، وذلك بقياس التغيرات التي قد تحدث في بلورة صلبة نتيجة تصادم الومبات بأنويتها.

إن المهمة ممكنة وقابلة للتنفيذ، ولكنها تتطلب بعض تقنيات القياس المتطورة. إن ما يجعلها قابلة للتنفيذ هو أن هناك كتلاً لأنوية ذرية في مدى الكتل المعقولة للومبات. إن كتلة نواة عنصر الهيدروجين، أخف العناصر، تساوى كتلة بروتون واحد فقط، أما كتلة نواة الكربون فتساوى ١٢ ضعف كتلة البروتون، وهكذا. وتنتقل الطاقة من جسيم إلى آخر بشكل أكثر كفاءة أثناء الاصطدام عندما يكون للجسيمين الكتلة نفسها تقريباً - وبالتالي فإن المواد العادية يمكنها «ملاحظة» تأثير الومبات. ويُعتقد أن عدد مصادمات الومب التي يمكن ملاحظتها يومياً في كل كيلوجرام من مادة ما يتراوح بين ويمب واحد ومائة ويمب - ويتوقف العدد الصحيح على تفاصيل صفات الومبات، وهي تفاصيل لا يمكننا اكتشافها إلا برصد بعض هذه الومبات وقياس تأثيرها على قطع من المادة. إذاً لن تحتاج إلى كتلة شديدة الضخامة من الجرمانيوم مثلاً، لكى تقوم بدور مكشاف

للوليمپ (فلن تحتاج بالطبع إلى مثل كتلة سائل التنظيف الذى استخدمه راي دافيز فى مكشاف النيوتريونو). لكن ستحتاج إلى وسائل حساسة لرصد التغيرات فى قطعة الجرمانيوم (أو أى عنصر آخر) الناجمة عن وصول الويمپات.

ويتابع الباحثون حالياً عدة طرق لمعالجة هذه المشكلة. بعض هذه الطرق دقيق ويتعلق بالتغيرات فى صفات «الهدف»؛ غير أنه لا يمكن فهمها بشكل صحيح إلا إذا كان لديك خلفية كاملة فى فيزياء الكم. لكن هناك طرقاً أخرى أسهل للفهم مبدئياً، وأكثر مباشرة للتفسير عملياً، وسألتزم هنا بثلاثة أمثلة فقط.

أحد الاحتمالات أن يبدل اصطدام ويمپات مع أنوية أشباه الموصلات، مثل الجرمانيوم، الصفات الكهربائية للمادة بشكل قابل للقياس. إن أشباه الموصلات مواد غريبة بعض الشيء، حيث إن إلكتروناتها المرتبطة بالأنوية فى النظام الشبكي للبلورة لا تكون مقيدة بشكل قوى فى مكانها. وفى ظل الظروف المناسبة، يستطيع إلكترون أن يتشجع ليقفز من مكانه فى البلورة، تاركاً وراءه فجوة إلكترونية. ولأن الإلكترونات تحمل شحنة سالبة، فإن الفجوة الإلكترونية تتصرف مثل إلكترون ذى شحنة موجبة. وقد يؤدى اصطدام بعض الويمپات بأنوية مثل هذه البلورة إلى إنتاج بعض أزواج إلكترون - فجوة إلكترونية التى يمكن رصدها.

والإمكانية الأخرى هى الاستماع، حرفياً، للصوت الذى يحدثه الويمپ عند اصطدامه بنواة فى البلورة، فعند ارتداد النواة من الضربة، فإنها تحتك بشكل خفيف بالأنوية المجاورة، مرسلّة مُوجّة من التشويش - موجة صوتية - عبر البلورة. ولقد اقترح بلاس كابريرا وزملاؤه بجامعة ستانفورد تركيب صف من المجسات الصغيرة الحساسة على كل واحد من أسطح بلورة مناسبة، بحيث تقيس الذبذبة الدقيقة جداً، التى تشبه الهزات الأرضية المصغرة، فعند اصطدام الويمپ تتولد موجة صدمة ترسل إلى السطح تلك الموجات الدقيقة. إننى أفضل هذه التقنية، لأنها تثير إمكانية استخدام «علم الزلازل البللورى» لرصد الويمپات فى المعمل، وتربط ذلك بشكل جميل مع استخدام علم الزلازل الشمسية لقياس آثار الويمبات على الشمس. وإذا تمكنا من فعل ذلك، فستكون حيلة بارعة للغاية بالفعل.

لكن ربما يكون أبسط تناول لمشكلة رصد تصادمات الويمپ مع المادة العادية (والأقرب إلى النجاح إذا كان للويمپ الصفات التى افترضتها الدراسات الشمسية) هو

ببساطة قياس الحرارة الناجمة عن التصادم. إن الحرارة مقياس لكمية حركة الجزيئات والذرات المكونة للمادة، سواء أكانت صلبة أم سائلة أم غازية - فالجسم الأكثر سخونة هو ذلك الجسم الذى تتحرك فيه الجزيئات والذرات بسرعة أكبر (متذبذبة ذهاباً وإياباً داخل الجسم الصلب، أو متجولة بحرية أكبر فى السوائل والغازات) وتحتك مع بعضها بقوة أكبر، وبالتالي، عندما يندفع ويمپ إلى داخل النواة، ويجعلها تحتك بالأنوية المجاورة لها، فإن حرارة البللورة ترتفع لأن طاقة حركة الويمپ القادم تحولت إلى حرارة. ولكن للأسف، كمية الحرارة التى تتطلق صغيرة للغاية - إن جهاز رصد مصنوع من كيلوجرام واحد من السيلكون، ويعمل فى ظل ظروف مثالية، سترتفع درجة حرارته نتيجة تصادم ويمپ واحد معه بأقل من خمسة على ألف من الدرجة، أى أقل من ٥ ميلليكلفن. لكن إذا كانت البللورة باردة جداً فى بداية التجربة (تم تبريدها بواسطة هليوم سائل إلى درجة لا تتعدى بضع درجات كلفن، أى حوالى - ٢٧٠م)، فإن هناك إمكانية حقيقية لقياس مثل هذه التغيرات المتواضعة فى درجة الحرارة.

إن ما يتضمنه ذلك من جهد يستحق العناء المبذول فى سبيله، على أساس أنه قد يكشف عن مكان وجود تسعة الأعشار «المفقودة» من الكون. لم يقم أحد بعد بتجربة الحيلة - لم يقس أحد بالفعل بعد أيّاً من هذه الآثار التى يمكن أن تُعزى بدون أى لبس للويمپات. لكن كل هذه الإمكانيات، وأكثر منها سيتم اختبارها بتجارب جاهزة للعمل خلال العقد القادم إن نتائج التجارب لم تضع، حتى الآن، سوى حدود المدى الممكن لكتل الويمپ، مثل تجارب قياس كُتَل النيوتريونات. وستضيق هذه الحدود عندما يتم تشغيل التجارب الجديدة فى غضون السنوات القليلة القادمة - أو إذا تمت عملية رصد فعلية للويمپ.

غير أن الحدود لا تمثل حالياً أية إعاقة لهؤلاء المنظرين، الذين يتوقعون بلهفة الرصد النهائى للويمپ.

النتائج حتى الآن

إن أفضل الحدود لكتل الويمپ حتى الآن قدمتها تجارب صُممت وأقيمت لدراسة تفاعلات جسيم آخر، إلا أن التجربة كانت حساسة لأنواع معينة من الويمپات كذلك، ولا يوجد حالياً مكشاف مخصص لرصد الويمپ يبحث عن مدى الكتلة «الصحيح». لكن إحدى التجارب الموجودة تعطيك إحساساً طيباً، عن نوع الجهد المبذول.

وهذه التجربة بالذات كانت قد بُنيت بالفعل لبحث ودراسة ظاهرة أخرى، تُعرف بانحلال بيتا المزدوج، وهى ظاهرة تتطلبها أفضل نظريات الفيزياء الموحدة(*)، مثلها مثل الجسيمات «الجديدة». وتتلخص هذه التجربة فى مراقبة سلوك أزواج «الإلكترون - الفجوة الإلكترونية» فى بللورة جرمانيوم. وهى ترصد فى الواقع نبضة الطاقة التى يطلقها الإلكترون عندما يسقط مرة أخرى فى الفجوة الإلكترونية، فوراً بعد الاصطدام الأسمى مع جسيم خارجى، ذلك الاصطدام الذى أزعج شبه الموصل وخلق هذه الفجوة. وبدأت هذه المعدات تنتشر إلى حد ما، وفى حالة المكشاف الذى طوره رونالد برودزينسكى الباحث بمعامل باثل باسفيك نورثويست، وفرانك أفينيون الباحث بجامعة ساوث كارولينا، فإنه يتكون من بللورة جرمانيوم تزن ٧٢ كيلوجرام ومعدات أخرى ملحقة بها. لكن المشكلة أن أى شىء تقريباً يصطدم مع الأنوية فى النظام الشبكى للبللورة سيطلق رد فعل إلكترون - فجوة الكترونية، ويتعين بالتالى حماية المكشاف من الأشعة الكونية، ومن أية خلفية إشعاعية. ومن ثم لا يوجد مكان لهذا الجهاز أفضل من منجم هومستك للذهب بجانب مكشاف دافيز للنيوترينو على عمق ١٦٠٠ متر تحت سطح الأرض.

لكن فريق العمل واجه مشكلات حتى فى هذا المكان، فالصخور المحيطة نفسها مشعة بدرجة تكفى لتشغيل المكشاف، ومن ثم يتعين تدريعه بمادة خاملة لا تحتوى على أية أنوية مشعة على الإطلاق. وفى الحقيقة، يصعب فى الوقت الحالى العثور على مثل هذه المادة على سطح الأرض. فبالإضافة إلى النشاط الإشعاعى قصير الأجل الذى يُحدثه تأثير الأشعة الكونية نفسها، فإن أغلب المواد الحديثة ملوثة بآثار من إشعاع القنابل النووية التى تم تفجيرها فى الغلاف الجوى منذ الحرب العالمية الثانية. وتُعتبر بقايا هياكل السفن الحربية الألمانية الفارقة شمال اسكتلندا منذ الحرب العالمية الأولى هى أحد مصادر الصلب غير المشع الذى مازال يُستخرج لاستخدامه لبعض الأغراض العلمية. غير أن الرصاص يقدم حماية أفضل ضد الإشعاع، والجهاز الموجود بمنجم الذهب مدرع بالفعل برصاص تم الحصول عليه من حطام سفن الأسطول الحربى الإسباني الشراعية الضخمة التى غرقت فى بداية القرن السادس عشر.

(*) لو كنت تواقاً لأن تعرف، فلقد تم رصد انحلال بيتا المزدوج، مؤكداً بذلك أن تلك النظريات الموحدة تضى على الطريق الصحيح - وهو ما يمثل دليلاً عريضاً على أن الومب موجود أيضاً.

وبعد كل هذه الجهود، وجهود أخرى لتقليل خلفية «الضوضاء» التي تؤثر على الجهاز، لم يتمكن الفريق، حتى الآن، إلا من وضع حد أعلى «فقط» لكتل الويمب. لم يعمروا على دليل لأى جسيمات تزيد كتلتها على عشرين ضعف كتلة البروتون، ويؤكدون أن مثل هذه الجسيمات لو كانت موجودة لثم العثور عليها. ويُعد ذلك أخباراً طيبة، لأن اكتشاف ويمبات ذات كتل عالية لهذه الدرجة (أكثر من عشرين ضعف كتلة البروتون) كان سيمثل إحراجاً قاسياً لعلماء الفيزياء الفلكية الذين يحاولون حل مشكلة النيوتريـنو الشمسى.

أما الحد الأدنى لكتل الويمب، فقد حددها مكشاف آخر تم وضعه أيضاً فى منجم هومستك، بهدف البحث عن النيوترينات. وكان فريق برئاسة إدوارد فيرمان الباحث بمرصد سميثسونيان للفيزياء الفلكية بكمبريدج، ماساتشوسيتس، قد ذكر فى عام ١٩٨٨ هذا الحد الجديد. ويتكون جهازهم من ستة أطنان من هيدروكسيد البوتاسيوم، حيث يجب أن يتكون أرجون - ٢٧ نتيجة تفاعل النيوترينات أو انواع معينة من الويمب (كما حدث) مع أنوية البوتاسيوم - ٣٩. وبعد ثلاث سنوات من التشغيل، لم تنتج التجربة أى دليل على تفاعلات لنيوتريـنو أو لويمب. إن الطريقة التى يعمل بها هذا المكشاف تجعله بالفعل أكثر حساسية للجسيمات «الأخف وزناً» (فهو مصمم لرصد نيوترينات) - وبالتالي؛ فإن عدم رصد أية تفاعلات يخبرنا أنه إذا كانت هناك أية ويمبات فإن كتلتها ستكون «أعلى» من كتلة البروتون، بل ومن المحتمل أن تكون أكبر من كتلة ثلاثة بروتونات.

وبدا الأمر أكثر إثارة للاهتمام، حيث يحتاج علماء الفيزياء الشمسية إلى ويمبات تتراوح كتلتها بين حوالى خمسة إلى عشرة أضعاف كتلة البروتون، مع تفضيل الحد الأدنى لهذا المدى. بل أصبح الأمر أكثر إثارة عندما قدم مكشاف جرمانيوم آخر حداً «أعلى» أكثر إحكاماً، وكان ذلك أيضاً فى عام ١٩٨٨. ويتولى تشغيل هذا المكشاف فريق من ثلاثة مراكز بحث (جامعة كاليفورنيا، سانتاباربارا. ومعمل لورانس بيركيلى فى كاليفورنيا. وجامعة كاليفورنيا بيركيلى). تقول تلك التجربة إن كتلة الويمب يجب أن تكون «أقل» من تسعة أضعاف كتلة البروتون. إن مدى الإمكانيات التى تسمح بها المشاهدات هو «بالضبط» المدى الذى يتطلبه علماء الفيزياء الفلكية، غير أننا لن نعرف يقيناً هل هؤلاء العلماء على حق حتى تكتمل تلك التجربة الحاسمة التى تقيس فعلاً كتلة الويمب. والحصول على الإجابة قبل القرن الواحد والعشرين.

نحو المستقبل

طرأت تغيرات كثيرة على علم الفلك فى السنوات الأخيرة، ولعل من العلامات على مدى هذا التغيير أن أجهزة الرصد التى يتضمنها هذا البحث ليست تلسكوبات فى مرصد على قمم الجبال، وإنما أجهزة رصد تحتوى على أطنان من هيدروكسيد البوتاسيوم (أو أى شئ آخر) مدفونة فى قاع منجم تحت سطح الأرض - إن منجم هومستك، حيث تعمل فى آن واحد عدة أجهزة رصد فلكية للجسيمات، يستحق بكل المقاييس وصف «مرصد هومستك». لكن تظل التلسكوبات البصرية التقليدية مثيرة للإعجاب فى جد ذاتها، حيث أطنان من الصلب بدلاً من هيدروكسيد البوتاسيوم، مركبة فى قباب مبنية لهذا الغرض ومحاطة بأجهزة كمبيوتر ومعدات رصد إلكترونية. هل هناك فارق كبير بالفعل؟ الإجابة يجب أن تكون «نعم»، لأن أطنان المواد فى مكشاف الجسيمات ليست جزءاً من بنيته الأساسية، وإنما هى «المكشاف» ذاته.

إن التباين بين طرق الفلك القديمة والجديدة أكبر مما يبدو للوهلة الأولى. ولقد أوضح جون فولكنر ذلك بقوة عندما تكلم عن مشكلة النيوتريـنو الشمسى، وأكد أن الجزء المهم من تلسكوب مثل التلسكوب العاكس بمرآته ذات المائة والعشرين بوصة، الموجود فى مرصد ليك حيث يعمل هو، «ليس» الخمسين طناً أو نحوها من العوارض المعدنية فى الدعامات ولا المرآة نفسها (١٢٠ بوصة)، إنما هو ذلك الجزء الضئيل الذى يتفاعل بالفعل مع فوتونات الضوء ويركزها على أجهزة الرصد، إنه تلك الطبقة الرقيقة جداً من الألومنيوم التى تكسو سطح المرآة، وتبلغ كمية الألومنيوم الموجودة فى هذه الطبقة الرقيقة سنتيمتراً مكعباً واحداً فقط، وهو يمثل كل ما تحتاجه إذا كنت تريد دراسة الفوتونات.

لكن فى حين يكسو سطح مرآة ذلك التلسكوب سنتيمتر مكعب واحد فقط من الألومنيوم، فإن «السطح» الداخلى للصندوق المستطيل المصنوع من الصلب الذى يحتفظ بمكشاف دافيز «مبطّن» بمائة ألف جالون فوق كلوريد الأثيلين. وأنت بحاجة لكل ذلك «السطح التشغيلى» إذا كنت تريد دراسة النيوتريـنات - إن ذلك التباين فى الحجم يعطى مقياساً صادقاً للاختلافات الجوهرية بين تلسكوبات الفوتونات وتلك الخاصة بالنيوتريـنات. وتشبه مكشافات الـويمب إلى حد كبير مكشافات النيوتريـنو، لدرجة أن بعض هذه الأجهزة، كما رأينا، يمكن أن تقوم برصد الجسيمين.

إن الأنواع الحديثة من أجهزة الرصد تفتح دائماً آفاقاً جديدة في علم الفلك. لقد كانت التلسكوبات، مثل تلسكوب المائة والعشرون بوصة الموجود في مرصد ليك، هي ذاتها وسيلة لتغيير فهمنا للكون. والآن ونحن على عتبة ثورة جديدة، سيتغير مرة أخرى فهمنا للكون، عندما تبدأ في الظهور النتائج الإيجابية للجيل الجديد من أجهزة الرصد. وفي ضوء القرائن، فإن المؤشرات قوية على أننا نقف على أعتاب اكتشاف جديد رائع، ألا وهو تحديد هوية هذا النوع من الجسيمات الذي يكون أكثر من ٩٠٪ من كتلة الكون. إن «كل» ما درسته أجيال علماء الفلك السابقين يمثل فقط قمة جبل الثلج الكوني. ومن ناحية أخرى، يمكن أن يكون كل الافتراضات والملاحظات التي اعتمدت عليها تلك التجارب خاطئة. ورغم أن ذلك قد يكون محبطاً، خاصة بالنسبة لعلماء الفيزياء الفلكية الذين أغراهم (مثلي) جمال الحل الذي يقدمه الويمپ للغز النيوتريو الشمسى، فإنه قد يكون اكتشافاً أكثر إثارة بطريقة ما، حيث سيضطر المنظرون إلى البدء من جديد في محاولة استنباط كيف تعمل النجوم، وما الذي يجعل المجرات تتماسك معاً، وكيف يمكن توحيد وصف الجسيمات والقوى في حزمة رياضية واحدة.

لقد كنا، أو بالأحرى كان أجدادنا الأقربون، في ذلك الموقف من قبل - ليس مرة واحدة بل مرتين، خلال أكثر من مائة عام بقليل. وحينذاك، مثل الآن، كانت الدراسات عن الشمس هي مفتاح التطورات ذات التداعيات التي كان لها صداها وانعكاساتها في دنيا العلم. لقد كان وليم طومسون (لورد كلفن بعد ذلك) مقتنعاً بأن مصدر طاقة الشمس لا بد أن يأتي من انهيار ناجم عن قوة الجاذبية. كان متأكداً من افتراضاته في الستينيات من القرن التاسع عشر، مثل يقين أى واحد من أنصار نظرية الويمپ، بصحة افتراضاته في الثمانينيات من القرن العشرين. لكن طومسون عاش ليسمع رادرفورد يصف اكتشاف مصدر طاقة جديد، من انحلال الراديوم. منذ ستين عاماً، أى في نصف الفترة الزمنية تقريباً التي تفصل بين الصياغة النهائية لنظرية طومسون الخاصة بالانكماش الناجم عن قوة الجاذبية وبين بحث فولكنر وآخرين الذي طرح بفصاحة مماثلة قضية الويمپ، كان لغز كيف يمكن للأنوية أن تلتصق معاً في النجوم بينما تقول الفيزياء القياسية إن درجات الحرارة هناك منخفضة للغاية، عاملاً في تطوير ووضع فيزياء كم جديدة تصف الاندماج النووي وظاهرة النفق.

هل نحن، مثل طومسون في الستينيات من القرن التاسع عشر، نخدع أنفسنا بالاعتقاد بأن قوانين الفيزياء كما نفهمها حالياً مناسبة لحل لغز كيف تعمل الشمس؟ أم

أن علينا، مثل إدينجتون في العشرينيات من القرن العشرين، أن نتطلع إلى ثورة في الفيزياء تسمح لنا بتفسير الواقع الذي نراه وهو أن أتون الشمس يعمل بالفعل عند درجة حرارة مختلفة عن تلك التي تقول بها النظرية القياسية؟ أياً كانت الطريقة، يبدو أن علم الفلك متأكد من أن الشمس أحد مجالات العلم الأكثر إثارة للاهتمام في عقد التسعينيات، بعد عقود احتل فيها مركز المسرح الفلكي أجسام أبعد بكثير من الشمس وأكثر غرابة بشكل سطحي، مثل البولسار^(*)، والنجوم الزائفة أو أشباه النجوم، والثقوب السوداء. إن حكايتي تنتهي هنا، لكن كشف أسرار قلب الشمس الدفين بدأ لتوّه.

(*) نَبْع إشعاع لاسلكي فلكي.

ملحق (١)

أرجوحة العلم

إن دراسات أسرار الشمس تتقدم حالياً بسرعة، فلقد حدثت تطورات جديدة مهمة، حتى أثناء الشهور التي مرت منذ تسليم المَسوَدَة الأولى لهذا الكتاب إلى المطبعة، وذلك سواء في مجال رصد النيوتريونات الشمسية أو النظريات التي تفسر لماذا لا يتم رصد سوى ذلك العدد القليل جداً من النيوتريونات. إن وزن هذا الدليل الجديد قَلَب ميزان الرأى الخبير بعيداً عن نموذج الويمب (كما في بداية ١٩٩١) ولصالح تنويعه من عملية MSW التي وصفت في الفصل الرابع . هذا التغيير في موضوع الـ MSW يعتمد على نحو مناسب ، على شيء يُعرف " بعملية الأرجوحة " لتوفير نيوتريونات بها كمية ضئيلة من الكتلة.

وفي الوقت الذي تقرر فيه هذه الكلمات سيكون هناك بكل تأكيد مزيد من التغييرات في القصة العلمية، وليس لدى هنا أية نية لمحاولة تقديم " إجابة " نهائية لمشكلة النيوترينو الشمسى. إننى أهدف ببساطة وبقدر الإمكان إلى إعطاءكم المعلومات المتاحة حتى الوقت الحاضر، بحيث يمكنكم فهم معنى القصص التي من المحتمل أن تكون قد ظهرت في الصحافة والتلفزيون في عام ١٩٩١ وما بعده. لكن هناك موضوعاً أساسياً يظل ثابتاً طوال كل ذلك. بالرغم من أن نظرية الويمب لم تعد المرشح الرئيسى لتفسير الألفاز التي تطرحها قياسات النيوترينو الشمسى، فإنه لا يزال واضحاً أن هناك ارتباطاً بين ما يدور داخل الشمس وطبيعة الكون بصورة عامة - بل قد تقدم لنا

الدراسات الشمسية مفتاح حل لغز الطريقة الصحيحة لتطوير نظرية موحدة للفيزياء ،
التي أشرنا إليها باختصار فى الفصل الثامن .

لقد كان ديفيز على حق

بدون عمليات رصد جديدة ما كان هناك بالطبع أساس يُعتمد عليه لبناء نظريات جديدة . إن التطور المثير فى قصة النيوتريـنو الشمسى خلال التسعينيات من القرن العشرين يرجع إلى أنه بعد عقدين من الاعتماد على بيانات من تجربة واحدة فقط، توافر لدى المنظرين فجأة نتائج رصد من أربعة مكشافات للنيوتريـنو الشمسى . والنتيجة الأخيرة لعمليات الرصد الجديدة هى أن رأى ديفيز كان على حق منذ البداية - فهناك بالفعل عدد قليل جداً من النيوتريـنات القادمة من الشمس، وأن الأمر لا يرجع إلى عيب فى مكشافه لكونه لم ير المزيد من النيوتريـنات. لكن، يتوافق مع قصة الدراسات الشمسية ككل الزاخرة بالأحداث ، أن عمليات الرصد الجديدة لم تؤكد فقط القياسات التى قام بها ديفيز إنما طرحت على المنظرين المزيد من التعقيدات التى تتعين مناقشتها. وكما قال جون بَـكُول John Bahcall فى مؤتمر عُقد فى ديسمبر ١٩٩٠، "إن هذا الموضوع كان سيصبح أبسط بكثير لو لم تكن هناك تجارب لا بد من القلق بشأنها".

يستخدم اثنان من المكشافات الجديدة تقنية الجاليوم التى وصفت فى الفصل الرابع. أحد هذين المكشافين، المسمى SAGE (اختصاراً لتجربة الجاليوم السوفيتية الأمريكية) يقع فى القوقاز ، والمكشاف الآخر ، المعروف باسم GALLEX (اختصاراً لتجربة الجاليوم) ، هو مشروع أوروبى يقع فى نفق جران ساسو تحت جبال الألب . وطبقاً للنموذج القياسى المزدوج (النموذج القياسى للفيزياء الفلكية زائد النموذج القياسى للفيزياء النووية) ، فإن على هاتين التجريبتين رصد عدد قليل من النيوتريـنات الشمسية ذات الطاقة المنخفضة . وبحلول نهاية عام ١٩٩٠، لم يكن هناك دليل على أن أيًا منهما رصد أية نيوتريـنات شمسية على الإطلاق. لقد كان الغياب التام للنيوتريـنات الشمسية ذات الطاقة المنخفضة بمثابة مفاجأة، وكان لا يمكن تفسيرها بمجرد تعديل نماذج الفيزياء الفلكية. وكما صاغها بكول، فإما أن يكون النموذج القياسى للفيزياء خاطئاً أو أن تجارب الجاليوم ببساطة لم تعمل.

والمكشاف "الجديد" الآخر هو تجربة كاميوكوند Kamiokande التى ناقشتها سابقاً. لقد بدأت هذه التجربة فى مراقبة النيوتريـنات الشمسية فى عام ١٩٨٨، وبحلول

عام ١٩٩٠ كان قد تجمع لديها كمٌ من البيانات يكفى لتوفير قاعدة لمقارنات إحصائية مع قياسات التجربة الرابعة ، تجربة ديفيز القديمة الآمنة فى هومستاك Homestake فى داكوتا الجنوبية . ولقد وفرت المقارنة للمنظرين مجالاً شاسعاً لاستخدام خيالهم .

إن الأنباء الطيبة، بالطبع ، هى أن مكشاف كاميوكوند لم يسجل فقط عدداً منخفضاً من النيوتريونات؛ لكنه أوضح لنا أيضاً الاتجاه الذى " رأى " أن النيوتريونات قادمة منه ، مؤكداً إنها بحق نيوتريونات شمسية . والمزيد من الأنباء المختلطة هو أنه بعد أكثر من اثنى عشر يوماً من التشغيل، ومباشرة خلال قمة آخر دورة نشاط للشمس، ظل عدد النيوتريونات المرصودة فى كاميوكوند ثابتاً، مع عدم وجود أى أثر للارتباط مع بقع الشمس الذى تمت مشاهدته فى بيانات داكوتا الجنوبية. إن بكول، المنظر الذى أمضى حياته يفكر بعمق فى مشكلة النيوتريونات الشمسية، مقتنع بأن الارتباط الظاهري بين النيوتريونات التى رصدها ديفيز وبقع الشمس مجرد صدفة. لكن، كما سأشرح باختصار، لا يزال منظرون آخرون يستخدمون هذا الارتباط، الذى يعتقدون أنه حقيقى، لتتقيح النسخ الخاصة بهم لعملية الـ MSW . كما أن ديفيز نفسه لم يقر بعد بالهزيمة ولم يدفع كل ما عليه فى رهانه مع بكول !

ومع ذلك، فإن أهم نتيجة استُخلصت من المقارنة بين بيانات كاميوكوند وبيانات تجربة ديفيز واضحة ومحددة. إن مكشاف كاميوكوند يسجل فى المقام الأول وصول النيوتريونات التى يتم إنتاجها فى عملية البورن - ٨ . ويتفسير عدد هذه النيوتريونات، طبقاً للنظرية الفيزيائية القياسية، نعلم عدد النيوتريونات التى يتعين على الشمس إنتاجها خلال العمليات المختلفة والمتعددة التى تجرى فى قلبها، ويستطيع بكول حساب عدد النيوتريونات التى يجب أن يتم رصدها بواسطة تجربة ديفيز، مفترضاً أن النظرية النووية القياسية صحيحة. لقد ثبت فى النهاية أن حتى هذا الرقم يساوى ضعف عدد النيوتريونات الشمسية التى رصدها بالفعل تجربة ديفيز . لكن الحساب لا يتضمن قط أية افتراضات خاصة بالفيزياء الفلكية. إذاً ضم البيانات الواردة من داكوتا الجنوبية إلى البيانات الواردة من كاميوكوند، يخبرنا بشكل لا لبس فيه أن النظرية القياسية للفيزياء النووية خاطئة. وبالطبع لا بد أن يكون النموذج القياسى للفيزياء الفلكية خاطئاً أيضاً، لكن نستطيع على الأقل أن نأمل فى حل كل اللغز بمجرد العثور على نظرية أفضل للتفاعلات النووية. وهنا تأتى آلية الأرجوحة.

يوم مشهود للمنظرين

إن بيانات كاميوكوند الجديدة قيدت بشكل حاسم المدى الممكن لتغيرات MSW التي تستطيع أن تحل مشكلة انخفاض عدد النيوتريونات الشمسية المرصودة على الأرض. ننتذكر، إن عملية الـ MSW الأساسية تتضمن نوعاً واحداً من النيوتريينو، ينتج في قلب الشمس، ويتغير إلى نوع آخر من النيوتريينو ("يتذبذب") وهو في طريقه عبر الشمس إلى خارجها. إن كلاً من مكشاف ديفيز ومكشاف كاميوكوند لم يرصدا سوى نوع النيوتريونات المرتبطة بالإلكترونات، وهو بالفعل نوع النيوتريونات الناتجة عن التفاعلات النووية التي تحافظ على الشمس ساخنة. لكن أسرة الجسيمات التي ينتمى إليها الإلكترون والليبتونات، تضم عضوين آخرين، هما جسيمات التو والميو. ولن تسجل المكشافات أية نيوتريونات إلكترونية تتحول إلى نيوتريونات توو أو نيوتريونات ميو وهي في الطريق إلينا، ومع ذلك فإن العدد الإجمالي للنيوتريونات ظل هو نفسه.

في مكشاف كاميوكوند، تُسجل النيوتريونات الشمسية القادمة عندما تتفاعل مع الإلكترونات في خزان المياه الذي يشكل معظم المكشاف. ولا يوجد في المواد العادية أية جسيمات توو أو ميو، وبالتالي لا يوجد في الماء شيء لكى تتفاعل معه نيوتريونات التو أو نيوتريونات الميو؛ لذلك فإنها تمر عبر المكشاف وكأنه غير موجود هناك. لكن عندما تتفاعل النيوتريونات الإلكترونية مع الإلكترونات، فإن الأخيرة ترتد من جراء الضربة، ويمكن إذاً قياس كل من اتجاه وطاقة الإلكترونات الناتجة السريعة الحركة بواسطة مكشافات تبطن جدران خزان المياه. وكما سبق أن ذكرت، فإن اتجاه الارتداد يخبرنا أن النيوتريونات التي تضرب الإلكترونات قادمة من الشمس. وتخبّرنا قياسات الطاقة بمقدار الطاقة التي تحملها هذه النيوتريونات معها من قلب الشمس إلى خارجها وعبر الفضاء وصولاً إلى الأرض. إن معلومات الطاقة هي التي تقيد بقسوة الاحتمالات المسموح بها بالنسبة لنموذج MSW.

إن عمليات الرصد الأخيرة تبين، بشكل خاص، أن تدفق النيوتريونات القادمة من الشمس يُكبّت بالتساوى عند كل مستويات الطاقة التي تم قياسها حتى الآن. وتستطيع النيوتريونات أن تتذبذب فقط بالطريقة المطلوبة شريطة أن تكون لها كتلة، وتتوقف طبيعة عملية التذبذب على فرق الكتلة بين نوعي النيوتريينو اللذين تشملهما الذبذبة. وتقص النظرية على أنه إذا كان هذا الفرق في الكتلة كبيراً نسبياً، فإن النيوتريونات ذات

الطاقة العالية هي التي ستفضل أن تتحول ، بينما النيوتريونات ذات الطاقة الأقل ستظل دون تغيير . من ناحية أخرى ، إذا كان فرق الكتلة صغيراً جداً ، فإن النيوتريونات ذات الطاقة المنخفضة هي فقط التي ستتحول ، بينما تظل النيوتريونات ذات الطاقة الأعلى دون تغيير. إن "طيف" طاقة النيوتريونات الإلكترونية التي وصلت كاميوكند استبعدت الاحتمال الأول، كما أن تحليلات أكثر دقة للقياسات استبعدت عدداً وافراً من الاحتمالات الأخرى، تاركة فقط مدى صغيراً جداً من خواص النيوتريينو التي يمكن أن تسمح لذبذبات MSW أن تؤثر على النيوتريونات الإلكترونية التي تترك قلب الشمس، بالطريقة الصحيحة التي تفسر كلاً من بيانات كاميوكند ونتائج هومستاك.

طبقاً لهذا التغيير في موضوع MSW فإن كبت النيوتريونات الإلكترونية يحدث أساساً عند مستويات الطاقة المنخفضة ، أقل من عتبة الرصد في كل من مكشافات هومستاك وكاميوكند، في حين أن الكبت الذي تم قياسه فعلياً هو جزء صغير فقط مما يجري . ويعنى ذلك أن الفرق في الكتلة بين النيوتريونات الإلكترونية والأنواع الأخرى من النيوتريينو التي يشملها التذبذب صغير جداً - حوالى واحد على ألف من الإلكترون فولت . وسيكون للنيوتريينو الإلكتروني نفسه عندئذ ، طبقاً للنظرية ، كتلة أيضاً أقل من واحد على ألف من الإلكترون فولت ، والتي هي أقل من واحد على مليار من كتلة الإلكترون .

إن السبب وراء الإثارة الكبيرة التي شعر بها المنظرون بشأن ذلك هو أنه كان لديهم من قبل نظرية تتنبأ بكتل للنيوتريينو في ذلك النطاق . لقد سبق أن اقترح العديد من المنظرين آلية الأرجوحة منذ عام ١٩٧٩ ، بما في ذلك موراي جلمان -Murray Gell-Mann الحائز على جائزة نوبل. وذلك كجزء من إحدى المحاولات العديدة لتطوير نظرية موحدة كبرى، أى مجموعة واحدة من المعادلات الرياضية لوصف سلوك القوى الثلاث التي تعمل على المقياس الخاص بالجسيمات ما دون الذرية، ألا وهي القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية القوية والقوة النووية الضعيفة. وطبقاً لكل هذه النظريات المتعلقة بالتوحيد الكبير، تصبح كل قوة من القوى الثلاث مكافئة للأخرى عند الطاقات العالية جداً. والطاقة الحرجة التي يحدث ذلك عندها يمكن التعبير عنها ككتلة. إن صيغة الأرجوحة تعطى كتلة نوع معين من النيوتريينو بقيمة كتلة الليبتون المرتبط به، مقسومة على كتلة التوحيد الكبرى.

إن كتلة التوحيد الكبرى ضخمة جداً، وتقدم النظريات المتعددة تقديرات مختلفة اختلافاً طفيفاً، لكنها جميعاً تدور حول 10^{10} مليار إلكترون فولت، وهي تساوى 10^{10} مرة كتلة البروتون. إن كتل النيوترينو التي برزت من معادلة الأرجوحة بالنسبة لأخف نوعى النيوترينو، تتراوح بين واحد على ألف إلكترون فولت وأقل من واحد على مليون إلكترون فولت. وهكذا يكون الفرق أيضاً بين الكتلتين حوالى واحد على ألف إلكترون فولت، وهو صحيح تماماً ليتفق مع الجزء الصغير الوحيد من نظرية MSW الذى لا يزال قابلاً للتطبيق فى ضوء بيانات كاميوكند. إن ذلك يثير إمكانية قياس كتلة النيوترينو بدقة من خلال دراسات الشمس، واستخدام عمليات الرصد تلك الخاصة بالفيزياء الفلكية، وإدراجها فى معادلة الأرجوحة، لنكتشف بدقة ماهية الكتلة الموحدة الكبرى، وكيف يمكن تجميع نظرية موحدة كبرى دقيقة.

روابط كونية - وكلمة تحذير

لقد أحييت هذه الفورة من الإثارة بشأن عملية MSW مفهوم أن النيوترينات يمكنها أن توفر المادة المعتمدة التى يحتاجها الكون ليتماسك معاً. فى عام ١٩٩٠ أجرى دنيس سكياما Dennis Sciama وهو عالم فيزياء فلكية بريطانى مقره تريست فى إيطاليا، بعض الحسابات التى تربط بين تأثير الـ MSW وعملية الأرجوحة، واللغز القديم العهد الخاص بطبيعة سحب الهيدروجين فى الكون. ويتلخص اللغز فى أن ذرات الهيدروجين مزودة بالطاقة، بحيث ينبعث منها ما يُعرف بإشعاع ليمان - ألفا. من السهل تزويد الهيدروجين بالطاقة باستخدام الضوء فوق البنفسجى، لكن من أين يأتى الضوء فوق البنفسجى؟

يرى سكياما أن الإشعاع يمكن أن يكون قادماً من موت النيوترينات الثقيلة التى خلقت فى الانفجار العظيم، وانحلّت مع تقدمها فى العمر. ويقول سكياما إن نيوترينات توو يمكنها أن تقوم بالمهمة، إذا كانت كتلتها حوالى ٢٩ إلكترون فولت ومتوسط عمرها النصفى 10^{11} سنة تقريباً. إذا قرر سكياما تحديد كتلة نوع من النيوترينو، فإنه يستطيع حساب كتل النوعين الآخرين من النيوترينو من معادلات الأرجوحة. ويصل ذلك، طبقاً لنسخة سكياما، إلى قيمة أعلى بالكاد من واحد على ألف إلكترون فولت، وهو ما يتفق تماماً مع الحسابات المعتمدة على نظرية MSW الخاصة بتذبذبات النيوترينو الشمسى، إلا أن ذلك ينطبق على نيوترينات الميو، وليس على النيوترينات الإلكترونية. فى هذه

الصورة، يكون للنيوترينو الإلكترونى كتلة أصغر، حوالى واحد على مائة مليون إلكترون فولت. وهناك عدد كبير جداً من النيوترينات التو حولنا، ويُعتقد إنه يمكن اعتبارها مسئولة عن المادة المعتمة التى نوقشت فى الفصل الخامس، حتى لو كانت كتلة كل واحد من هذه النيوترينات لا تتجاوز ٢٩ إلكترون فولت.

لقد أشار سكياما نفسه إلى أن فكرته "تربط معاً ثلاث فرضيات غير مثبتة: آلية الأرجوحة، وتأثير MSW وفرضية انحلال النيوترينو"، لكنه عندما يفعل ذلك يصل إلى "نموذج متماسك". إذا استمرت المكونات الثلاثة للمخطط فى تشكيل وحدة متماسكة مع ظهور مزيد من الأدلة، فإن ذلك سيمثل تطوراً مثيراً حقاً.

لكن قد تكون الإثارة سابقة لأوانها. فبرغم كل شيء، يركز كل ذلك، حتى الآن، على دليل "سلبي". لم يقم أحد فعلياً برصد إيجابى لتأثير MSW فعال. بدلاً من ذلك، استبعدت التجارب فعلياً أغلب مجال تأثيرات MSW التى تم التنبؤ بها. إن المتحمسين للنظرية سيقولون بالطبع إنه باستبعاد المستحيل، لا بد أن يكون ما يتبقى صحيحاً. غير أن الرؤية البديلة قد تكون أنهم يتشبثون بمنفذ صغير جداً تركته لهم التجارب القائمة، ومن الجائز تماماً أن يجدوا أن عمليات الرصد الجديدة عندما تصل تكون قد جرفت آخر أثر لنظرية MSW.

وجدير بنا أن نتذكر أن قبول نظرية MSW وآلية الأرجوحة يعنى التخلي، مثلاً، عن تفسير كتل النيوترينو التى اقترحها تحليل كوسيك Cowsik لنيوترينات السوبرنوف. وإذا أخذت قياسات تبين، كما فعلوا، أن طيف طاقة النيوترينات الشمسية لم يتشوه، فمن المبرر تماماً الجدل بأن التشوه لا بد أنه يجرى عند مستويات طاقة منخفضة حيث لا يمكن حتى مشاهدته، لكن هل نفترض فقط أننا نأخذ القياسات الفعلية كقيمة ظاهرية؟ إذا كان شكل طيف طاقة النيوترينو غير مشوه فعلاً، فإن ذلك ما قد تتوقعه تماماً لو كان نقص عدد النيوترينو ناتجاً فعلياً من عيوب فى النموذج القياسى للفيزياء الفلكية، ولا علاقة له بتذبذبات النيوترينو على الإطلاق!

إن الصورة بعيدة عن أن تكون واضحة، وتتجه إلى التغيير مجدداً عندما تنتج التجارب الجديدة مزيداً من البيانات. وهناك نظريات أخرى تحاول حل اللغز عن طريق فيزياء غير قياسية (مثل، احتمال ذبذبات مرتبطة بخواص مغناطيسية مفترضة للنيوترينات)، ولا يزال فى الانتظار العديد من التنويعات الأكثر أو الأقل جنوناً بشأن

موضوع الفيزياء الفلكية. وطبقاً لأحد التفسيرات لآخر بيانات الموجة الصوتية الشمسية، فقد تكون هناك عمليتان منفصلتان تعملان داخل الشمس، وتداخلان مع تدفق النيوتريونات الخارجة من قلب الشمس.

علم الزلازل الشمسية، ويقع الشمس والذبذبات

كما هو متوقع، وفرت التقنية الجديدة لسبر داخل الشمس بدراسة الطريقة التي يتحرك بها سطحها إلى الداخل والخارج، تبصراً جديداً لكيفية عمل الشمس. يبدو أن نموذج ذبذباتها يتغير على امتداد دورة النشاط الشمسي التي تُقدر تقريباً بإحدى عشرة سنة، ويعبر علماء الفلك عن تفاؤلهم بأنه خلال السنوات القليلة القادمة قد يكشف ذلك عن الأسباب الأساسية لهذه الدورة.

لقد تم تحديد هوية الذبذبات التي تشمل كل سطح الشمس، والناجمة عن موجات صوتية مرتدة هنا وهناك داخل الشمس، منذ دورة شمسية واحدة مضت، أى فى عام ١٩٧٩. وتبين الدراسات التي قام بها فريق باحثين من جامعتي برمنجهام وشيفيلد بوليتكنيك، والتي أعلنت عام ١٩٩٠ أن هناك تغيرات فى السلوك التفصيلي لبعض تلك الموجات الصوتية الشمسية ترتبط بتغيرات فى النشاط الشمسي مُقاساً بعدد بقع الشمس. إن التغيرات المكتشفة حديثاً فى الموجات الصوتية، تتطابق مع تغير الزمن الذي تستغرقه لعبور الشمس. ويُقدر التغير على امتداد الدورة الشمسية بحوالى ثانية واحدة، وطبقاً للباحثين، فإن ذلك يمكن أن ينتج من تغير فى حجم طبقة الشمس التي تتحرك الموجات خلالها، أو من تغير فى سرعة الصوت فى الجزء المَعْنَى من الشمس (ربما سببه تغير فى درجة الحرارة).

لكن، أى جزء من الشمس يتأثر بهذه الطريقة؟ بالرغم من أن عمليات الرصد تلك تغطى دورة كاملة لبقع الشمس، فإن هذه الدراسة الخاصة لم تقدم معلومات عن العمق الذي تنفذ إليه هذه الموجات. غير أنه، فى دراسة أخرى أُعلنت فى العام نفسه، وصف باحثون من مرصد بيج بير Big Bear الشمسي بكاليفورنيا، قياسات مختلفة قليلاً من الذبذبات الشمسية، ستقدم معلومات عن عمق النفاذ.

وترتبط أيضاً التغيرات فى سلوك هذه الموجات بعدد بقع الشمس، وإن كانت البيانات قد امتدت فقط للفترة من ١٩٨٦ إلى ١٩٨٨. وترى هذه القياسات أن التغيرات

تقع فى طبقة رقيقة من سطح الشمس، لا تغطى سوى واحد فى المائة من نصف قطر الشمس.

قال دوجلاس جوخ Douglas Gough من جامعة كمبريدج، معلقاً على هذه الاكتشافات الجديدة، إنه بالرغم من أن التقريرين، بتعبير ضيق، يتناولان نوعين مختلفين من الموجات، "فمن المرجح تماماً أن يكون للتغيرات فى التردد أصل مشترك". إن التغيرات فى سلوك موجات الصوت الشمسية عبر دورة بقع الشمس ترتبط ارتباطاً وثيقاً بتغير النشاط المغناطيسى للشمس، وطبقاً لجوخ فإن المزيد من التحليلات الدقيقة والبارعة قد توفر قريباً معلومات عن العمليات الديناميكية المتمركزة على عمق أكبر والمسئولة عن كل نشاط الدورة الشمسية بالكامل. وفى غضون ذلك، كان المنظرون سريعين فى محاولة ربط هذا التغير المكتشف حديثاً للموجات الصوتية الشمسية عبر دورة بقع الشمس، مع الدليل الوارد من مكشاف هومستاك بأن عدد النيوتريونات الشمسية التى تصل الأرض يختلف أيضاً عبر الدورة الشمسية. قد يكون بكون مقتنعاً بأن الربط بين بقع الشمس والنيوتريونات الشمسية غير منطقي، لكن منظّرين آخرين، مثل راي ديفيز، ليسوا متأكدين من ذلك.

ومع حلول نهاية عام ١٩٩٠ قدم باحثون من جامعة ديلاوير Delaware ومن جامعة ولاية أوهايو تحليلاتهم، التى ترى أن هناك حقاً ارتباطاً قوياً بين عدد النيوتريونات وعدد بقع الشمس. إلا أن هذه التحليلات تتجاوز الدراسات السابقة، باكتشاف أن الارتباط يكون أكثر وضوحاً عند إدخال ظروف التغير الموسمي فى الحسابات، وبالتالي يستطيعون تفسير كيف يمكن أن يحدث ذلك، طبقاً لطبيعة مدار الأرض حول الشمس.

إذا كانت هناك علاقة بين عدد بقع الشمس وتدفق النيوتريانو، فلا بد أن يرجع ذلك إلى أن كلاً من النيوتريونات والبقع تتأثر بالتغيرات الجارية تحت سطح الشمس. إن المرشح الأرجح للتأثير على كل منهما هو المجال المغناطيسى المتغير للشمس، الذى يتغير هو ذاته على امتداد دورة النشاط التى تُقدر تقريباً بأحد عشر عاماً. إذاً، يمكن تفسير تأثير النيوتريانو بناء على التأثير المغناطيسى على النيوتريونات. وطالما أن النيوتريونات لديها كمية ضئيلة من المغناطيسية (وهو محض تخمين، ولم يتم قياسه أبداً)، فإن: بذبات مماثلة جداً لتلك الخاصة بعملية MSW يمكن أن يسببها مجال مغناطيسى اخل الشمس عند تحرك النيوتريونات خلالها وهى فى طريقها إلى الخارج. وبما أن

قوة المجال المغناطيسى تتغير عبر الدورة الشمسية، فإن قوة الذبذبة ستتغير أيضاً، وبناء عليه سيتغير عدد النيوتريونات الإلكترونية التى ستظل فى قيد الحياة حتى تصل إلى مكشاف هومستاك. لكن ذلك ليس سوى جزء من القصة.

إن علماء الفلك لديهم دليل قوى على أن المجال المغناطيسى للشمس ملتف فى شكل حلقي، مثل حلقة كعكة مُحلّاة، تحت سطح الشمس مباشرة. ولدوران الشمس تأثير على هذا المجال المغناطيسى بحيث يعطيه شكلاً لولبياً؛ مما يجعله أقوى عند المناطق البعيدة عن خط الاستواء. ومن ثم يجب أن يكون تأثير التذبذب، طبقاً لهذه النظرية، أقل بالنسبة للنيوتريونات التى تعبر إلى الخارج مباشرة من القلب عبر خط استواء الشمس، ويكون أكثر قليلاً بالنسبة للنيوتريونات التى تخرج من القلب بزاوية مع خط استواء الشمس وتتبع شمال هذا الخط أو جنوبه.

إن الأرض ذاتها ليست دائماً على المسافة نفسها من الشمس، فهي ترتفع أيضاً أعلى وأسفل مستوى خط استواء الشمس فى دورانها حول مدارها. وينشأ ذلك لأن مدار الأرض إهليلجى، وليس دائرياً تماماً، فهو مائل بشكل طفيف. ويحدث أن نكون أقرب قليلاً للشمس فى ديسمبر عنه فى يونيو، لكننا نعبّر مستوى خط الاستواء فى كل من ديسمبر ويونيو، وهما الشهران اللذان يسجل فيهما بالفعل مكشاف هومستاك أغلب النيوتريونات. وتبلغ الأرض أكبر مسافة لها أعلى وأدنى خط استواء الشمس فى سبتمبر وأبريل، وهما بالتحديد الشهران اللذان يكون فيهما تدفق النيوتريونات عند أقل مستوى له. ويشير فريق الباحثين إلى أنه، طبقاً لنظرية MSW يجب أن يصل بالفعل عدد أكبر من النيوتريونات الإلكترونية إلى الأرض عندما تكون فى الوضع الأقرب إلى الشمس، أى فى ديسمبر ويونيو، غير أن ذلك تحديداً نقيض التأثير الصغير الذى قاموا بقياسه. بالأخذ بالقيمة الظاهرية، يستبعد الارتباط بين بقع الشمس والنيوترينو عملية MSW كتفسير لندرة النيوتريونات الشمسية!

إن العلاقة مع علم الزلازل الشمسية تأتى من دراسة قام بها لورنس كروس Lawrence Krauss من جامعة ييل Yale. لقد وجد ما أسماه تلميحات "مُخيرة"، ويشير إلى أن تغيرات النيوترينو وتغيرات الموجة الصوتية تتحرك فى تناغم وثيق مع بعضها البعض، وهو ما قد يعنى أن كلاً منهما يتأثر مباشرة بالتغيرات نفسها المتمركزة فى عمق الشمس. إن التغير فى الزمن الذى تستغرقه الموجات الصوتية لعبور الشمس،

خلال الدورة الشمسية، يمكن تفسيره إذا كانت سرعة الصوت داخل الشمس تتغير، وإحدى طرق إنجاز ذلك أن يكون هناك مجال مغناطيسى لولبي كبير يقع عميقاً داخل الشمس، وتتغير قوته خلال الدورة الشمسية ويؤثر على كل من النيوتريونات والموجات الصوتية. إن مثل هذا المجال المغناطيسى سيؤثر على الموجات الصوتية لأن الجسيمات المشحونة كهربيًا فى داخل الشمس ستمارس "ضغطاً" مغناطيسياً إضافياً، وكذلك وزن الطبقات الخارجية للشمس. فى الواقع، يستطيع المجال المغناطيسى القوى المتمركز عميقاً داخل الشمس أن يكون أيضاً طريقة أكثر فاعلية من مجال مغناطيسى قرب السطح، لجعل النيوتريونات المغناطيسية تتذبذب، كما يمكنه أن يقلب نيوتريونات إلكترونية إلى نوع ما آخر، حتى وإن كان لديها قدر أقل بكثير من المغناطيسية التى تتطلبها النسخة البديلة من هذه النظرية.

عودة إلى المستقبل

إن الوقت مبكر جداً للقول ما إذا كان هذا النهج لتناول المشكلة سينتج رؤى جديدة لكشف أسرار الشمس. لكن فريق ديلاوير/أوهايو ذكر بطريقة عَرْضِيَّة تلميحاً مثيراً للاهتمام والفضول، فى بحث نُشر فى مجلة نيتشر بعدد نوفمبر ١٩٩٠ قد يقود إلى تناول مثمر لعقد التسعينيات من القرن العشرين. إنهم يشيرون إلى أن التأثير المغناطيسى الذى وصفوه ليس قوياً بما فيه الكفاية، بأية حال، لتفسير المستوى المنخفض عموماً للنيوتريونات الشمسية التى تصل إلى الأرض. غير أنه يستطيع أن يفسر على نحو بارع جداً لماذا يكون عدد النيوتريونات المرصودة أكبر فى بعض الأوقات من العام وفى بعض أوقات الدورة الشمسية. لكن فقط إذا كان هناك شيء آخر قد خفض من قبل تدفق النيوتريونات إلى أقل من نصف الكمية التى تنبأ بها النموذج القياسى المزدوج. ويقولون: "إن حلاً شاملاً للغز النيوترينو الشمسى يتطلب شيئاً بالإضافة إلى فرضية عزوم النيوترينو المغناطيسية"، وهذا الشيء قد "يتجلى فى شكل تغيير للنموذج القياسى للشمس، أو ربما فى شكل التوليف بين فرضية العزم المغناطيسى وتأثير MSW.

لا يمكن لحبكة الرواية أن تكون أكثر إبهاماً. قد يكون تأثير MSW قريباً من الحقيقة، أو قد يستبعده الجيل التالى من المكشافات. لقد بَهَتْ نظرية الويمب وتراجعت عن موقعها فى مقدمة السباق، لكن لا يزال لديها فرصة تصل إلى ٥٠٪

لتوفير جزء من الإجابة (إن هذه النسبة أوردتها جيم ريتش، من ساكلاي، في فرنسا، في ديسمبر ١٩٩٠). قد يكون هناك ارتباط بين تدفق النيوتريـنو وعدد بقع الشمس وقد لا يكون، وهذا الارتباط إذا وجد فقد يخبرنا أن النيوتريـنات مغناطيسية أو قد لا يخبرنا.

ومع ذلك لا تجعلوا هذا التشوش يثبط همـتكم. لقد كان الأمر كذلك دائماً في علم الفلك. ففي أول الأمر، عندما يتم إجراء عمليات رصد جديدة، يكون هناك وفرة من الأفكار المربكة التي تُقدم لتفسيرها، وفي كثير من الأحيان تكون هذه الأفكار متناقضة. لقد حدث ذلك مع الكـُـوازار(*) والبولسار(**) وحتى مع اكتشاف مجرات أخرى أبعد من درب اللبـانة. ويُعتبر الارتباك، في أفضل الأحوال، علامة على أن دراسة ما يدور داخل الشمس، وليس فقط على سطحها، يصبح فعلياً فرعاً حقيقياً من فروع العلم، تغذيه عمليات الرصد والتجارب. كان إحساسى الشخصى، في نهاية عام ١٩٩٠ أنه من غير المرجح أن يثبت أى من مجموعة الأفكار الأخيرة إنه الحل الوحيد لمشكلة النيوتريـنو الشمسى. لا يوجد حتى الآن أية عملية رصد مباشرة لأى تأثير فعال لعملية MSW لا يمكن تفسيره بطريقة أخرى، كما لم يتم حتى الآن، في تجربة على الأرض، أى كشف إيجابى للوـيمب. في نهاية المطاف، قد يكون الأمر أننا نحتاج إلى فيزياء جديدة كما نحتاج إلى نموذج شمسى أفضل من أجل تفسير كل الألغاز. إن التوليف بين بعض الأفكار الموجودة، وعمليات منفصلة فعالة كابتة لتدفق النيوتريـنو من قلب الشمس وتعمل على تعديله في الطبقات الخارجية، ربما سوف يثبت بالفعل إنه ناجح على المدى البعيد. أو ربما ستقودنا المكشافات الجديدة، التى بدأ حالياً تشغيلها، إلى نظرية جديدة تماماً لحل المشكلة، وهو ما يمثل، بطرق عديدة، الاحتمال الأكثر إثارة على الإطلاق.

أياً كان ما سيحدث خلال السنوات العشر القادمة، فإن شيئاً واحداً يبدو أكيداً. كلما درس علماء الفيزياء أسرار الشمس، وخاصة ندرة النيوتريـنات الشمسية، بدأ واضحاً أن حل هذه الألغاز سيتضمن عالم المتناهى الصغر وعالم المتناهى الكبر. لقد انبثق آنفاً التبصر فى كل من القوانين التى تحكم الجسيمات ما دون الذرية والمادة التى تجعل الكون يتماسك معاً من دراسات لنجم عادى متوسط الحجم، وإذا كان علماء

(*) نقطة إشعاع خارج المجرة. (المترجم).

(**) نبع إشعاع راديو فلكى. (المترجم).

الفيزياء سيتوصلون أبداً إلى " نظرية كل شيء " التي طالما جَدُّوا في طلبها، فلا بد، بكل تأكيد، أن تلائم هذه النظرية ثروة المعلومات الواردة الآن عن سلوك الشمس ونيوتريناتها. عندما اقترح جون ب كول وراى ديفيز في أول الأمر، في عام ١٩٦٤، تجربة لمراقبة النيوترينات الشمسية، لم يدخل أبداً في رأسيهما، على حد قول ب كول، إنه يمكنك استخدام الشمس لاكتشاف أشياء جديدة خاصة بفيزياء الجسيمات. لكن قد يصبح ذلك هو التراث الباقي والأكثر أهمية للعقود التي أمضاها ديفيز وزملاؤه نُصُون ذرات الأرجون، في خزان مملوء بسائل تنظيف مدفون في منجم ذهب في أكوئا الجنوبية.

ملحق (ب) رابطة السوبرنوفا(*)

ليس مقدراً لشمسنا أن تصبح سوبرنوفا. لكنها ولدت من حطام انفجارات سوبرنوفا في الماضي البعيد، عندما كانت مجرتنا، مجرة درب اللبانة، حديثة السن. إن كل ذرة في جسمك، وكل ذرة على الأرض، فيما عدا الهيدروجين والهيليوم(**) صنعت داخل النجوم ثم قُذِفَ بها في الفضاء بواسطة انفجارات السوبرنوفا؛ لكي تشد وتربط معاً سحُب الهيدروجين والهيليوم التي تكونت منها الشمس وأسرتها من الكواكب. وإذا لم نفهم السوبرنوفا؛ فقد لا نفهم أصل الشمس (ولنترك جانباً أصلنا نحن ذاتنا)، وستكون القصة التي رويتها في هذا الكتاب ناقصة.

على امتداد العقود الثلاثة الماضية، طور المنظرون ما بدا أنه فهم مُرضٍ لانفجارات السوبرنوفا، اعتماداً على فهمهم لقوانين الفيزياء، وعلى عمليات رصد لمثل تلك الانفجارات في مجرات بعيدة، ولحطام من انفجارات سوبرنوفا قديمة في مجرتنا ذاتها، وعلى نماذج الكمبيوتر لكيفية عمل النجوم، مثل تلك التي وصفتها سابقاً. لكن حتى عام ١٩٨٧، لم يكن لديهم الوسائل للتحقق مباشرة من هذا الفهم. ولذلك كان انفجار نجم يُعرف باسم ساندوليك (Sanduleak) - ٦٩ ٢٠٢ ليصبح سوبرنوفا،

(*) نجم متفجر فائق التوهج، تزيد درجة سطوعه مائة مليون مرة عن درجة سطوع الشمس. وهو ظاهرة نادرة الرصد.

(**) لا يوجد في جسمك هليوم.

ومشاهدة ذلك من الأرض في ليلة ٢٤/٢٣ من فبراير ١٩٨٧، ربما أهم حدث تقريباً في علم الفلك منذ اختراع التلسكوب. والحدث، الذي لُقّب بـ SN1987A (إشارة إلى أول سوبرنوفا يتم رصدها في عام ١٩٨٧)، وقع في السحابة الماغلانية الكبيرة، وهي مجرة قريبة جداً من مجرتنا، وتتنمى إلى نفس نظام المجرات التي تتماسك معاً بواسطة قوة الجاذبية والمعروفة بالمجموعة المحلية. ويعتبر السوبرنوفا SN1987A الذي وقع على مسافة ١٦٠ ألف سنة ضوئية (وهو ما يمثل بالمقاييس الكونية البيت المجاوز) أقرب سوبرنوفا حدث منذ عام ١٦٠٤، عندما انفجر في مجرتنا ذاتها آخر سوبرنوفا معروفة، وكان ذلك قبل تطوير التلسكوب الفلكي مباشرة. لقد كان السوبرنوفا قريباً بما يكفي لدراسته بالتفصيل بواسطة مجموعة من المعدات - تتضمن التلسكوبات التقليدية على قمم الجبال، وأجهزة الرصد التي تعمل بالأشعة السينية على متن الأقمار الصناعية في الفضاء، وأجهزة رصد النيوتريو المدفونة على عمق كبير تحت سطح الأرض. وعلى امتداد العامين اللذين أعقبا الانفجار، أثبتت تلك المشاهدات سواء على مستوى الخطوط العريضة أو على مستوى أغلب التفاصيل، أن علماء الفلك كان لديهم بالفعل فهم جيد لكيفية عمل السوبرنوفا. ومع أن بعض التفاصيل لا تتفق مع التوقعات، فلم تكن هناك مفاجآت كبيرة. يبدو أننا بالفعل نفهم من أين أتت المادة التي تكونت منها الشمس ونحن أنفسنا، ويبدو من المناسب كذلك الاحتفال بنقطة التحول تلك في علم الفلك، وذلك بالنظر إلى سوبرنوفا ١٩٨٧ بقدر أكبر من التفصيل قبل أن أنهى هذا الكتاب.

اكتشاف سوبرنوفا

إن قصة سوبرنوفا ١٩٨٧ بدأت، بمعنى ما، منذ ١٩٦٠ ألف عام مضت، عندما كان كوكب الأرض يعاني من العصر الجليدي قبل الأخير. فطالما أن النجم الذي انفجر يقع على بعد ١٦٠ ألف سنة ضوئية، فإن ذلك يعني أن الضوء استغرق كل هذا الوقت ليصل إلى الأرض. لكن بقدر ما يتعلق الأمر بسكان هذا الكوكب، فإن القصة تبدأ ليلة ٢٤/٢٣ من فبراير ١٩٨٧، عندما كان الفلكي الكندي الشاب، إيان شيلتون (Ian Shelton)، يُجرى عمليات رصد من مرصد لاس كامباناس، على قمة جبل في شمال شيلي. وكان شيلتون يستخدم تلسكوباً متواضعاً بالمعايير الحرفية - تلسكوب فتحته عشر بوصات فقط. وكان قد حصل لتوه على إذن باستخدام هذا الجهاز في استطلاع السحابة الماغلانية

الكبيرة، بحثاً عن النجوم المتغيرة، وهى نجوم تتغير درجة سطوعها من يوم لآخر، أو من أسبوع إلى الأسبوع التالى، أو من شهر إلى الشهر الذى يليه، أو على امتداد مقاييس زمنية أطول. إن علماء الفلك المحترفين نادراً ما «ينظرون عبر» تلسكوباتهم هذه الأيام، بصرف النظر عن مجموعة التكنولوجيا الإلكترونية التى يمكنها الحصول على معلومات من ضوء النجوم، فإن الصورة الضوئية المتواضعة يمكنها أن تكشف أكثر مما تستطيع العين البشرية أن تراه، لأنه يمكن تعريضها للضوء لمدة طويلة (ساعات فى بعض الأحيان) بحيث تتكون الصورة طوال ذلك الوقت. إن العين البشرية، بعد التحديق فى نجم لساعات، لن تستطيع رؤية ما يزيد عما ستراه من أول نظرة خاطفة.

التقط شيلتون أول شريحة فوتوغرافية للسحابة الماغلانية الكبيرة فى ليلة ٢٢/٢١ من فبراير، غير أن اللقطة كانت رديئة، لأنه لم يكن اعتاد بعد على النظام. وفى ليلة ٢٣/٢٢ من فبراير، قام بالعمل بشكل أفضل، وحصل على شريحة معقولة للسحابة الماغلانية الكبيرة مستخدماً زمن تعريض للضوء قدره ساعة. لقد اكتسبت هذه الصورة أهمية كبيرة لأنها آخر صورة التقطت للمنطقة بهذا الجهاز قبل أن تصبح السوبرنوفا مرئية.

وفى ليلة ٢٤/٢٢ من فبراير، قام شيلتون بتشغيل كل شىء بدقة، وحصل على فترة تعريض طويلة وجيدة، ثلاث ساعات انتهت فى الساعة الثانية وأربعين دقيقة صباحاً. وكان يستعد للنوم، راضياً عن العمل الذى تم إنجازه بشكل طيب - لكنه قرر تحميض الشريحة الفوتوغرافية أولاً. وبمجرد أن قام بذلك، لاحظ بقعة ساطعة، تبدو كأنها نجم، بينما لم تكن هناك عندما صور المنطقة نفسها الليلة الماضية. فى البداية، ظن أن هناك عيباً فى الشريحة، ولكنه تبه بعد ذلك إلى أن أى نجم ساطع بتلك الدرجة يمكن رؤيته بسهولة بالعين المجردة. وخرج مسرعاً خارج مبنى التلسكوب ليلقى نظرة. وكان النجم الجديد بالفعل هناك.

وفى تلك الليلة نفسها، قرب منتصف الليل، كان أوسكار دوهالد، أحد العاملين فى التلسكوب ذى الأربعين بوصة المجاور، قد خرج ليلقى نظرة حول المكان. وكان يعرف السماوات الجنوبية جيداً، حيث تُعد مجرة السحابة الماغلانية الكبيرة سمة ظاهرة لها. ولاحظ أن هناك نجماً جديداً فى تلك المجرة، لكنه لم يلفت نظر المراقبين اللذين يستخدمان التلسكوب للظاهرة. إلا أن شيلتون من جانبه أسرع لكى يطلع زملاءه على اكتشافه. وذهب إلى غرفة التحكم الخاصة بتلسكوب الأربعين بوصة، وسألهم عن مدى

سطوع نجم جديد عند رؤيته من مسافة مجرة السحابة الماغلانية الكبيرة. رغم أن النجم الجديد ليس شائعاً بأية حال، فإنه حدث فلكي يكاد يكون روتينياً، عندما يمر نجم عبر طور غير مستقر ويتوهج فجأة ساطعاً لوقت قصير. إنه في الحقيقة ليس بنجم جديد، ولكنه نجم قديم سطع فجأة بما يكفي لتتم ملاحظته. وقال الباحثون الأكثر خبرة، الذين يستخدمون تلسكوب الأربعين بوصة لشيلتون، إن مثل هذا النجم الجديد قد يصل إلى حوالي ٨ على مقياس السطوع الفلكي المعياري (الذي يدل فيه الرقم «الأصغر» على سطوع النجم بشكل أكبر). وعلق شيلتون بأنه لأمر مثير، لأنه قام بتصوير نجم في مجرة السحابة الماغلانية الكبيرة قوة سطوعه ٥. عندئذ قال باري مادور على الفور لا بد إنه سوبرنوفا - وعند هذه النقطة من الحديث ذكر أوسكار دوهالد أنه رأى هو أيضاً نجماً جديداً ساطعاً في مجرة السحابة الماغلانية الكبيرة تلك الليلة، وخرج الجميع لإلقاء نظرة - لكن، ولسخرية القدر، كان لا يمكنهم فعل شيء لدراسة الظاهرة فوراً، فالسوبرنوفا كان يقع عند مستوى منخفض جداً في السماء بحيث لا يمكن دراسته بواسطة التلسكوب ذي المائة بوصة الموجود في الموقع، بينما كان تلسكوب الأربعين بوصة مزوداً تلك الليلة بجهاز يُستخدم لدراسة الأجسام الباهتة، وهو جهاز حساس بحيث قد يؤدي توجيهه إلى السوبرنوفا إلى إحراقه تماماً في أقل من ثانية.

كل ما كان في إمكانهم عمله هو تنبيه باقي علماء الفلك - غير أن القيام بذلك من فوق قمة جبل في شيلي ليس بالأمر السهل. وبعد محاولات غير مثمرة للاتصال هاتفياً بالمكتب المركزي للاتحاد الفلكي الدولي في كمبريدج بمساتشوستس، نزل مندوب من الجبل ليرسل تلك الأنباء بالتلوكس من أقرب مدينة. ووصل التقرير فعلاً إلى كمبريدج قبل التقرير الثاني عن الاكتشاف بنصف ساعة، وبهذا الهامش، تم الاعتراف رسمياً بشيلتون ودوهالد كمكتشفَي السوبرنوفا.

ولقد سبب الاكتشاف إثارة هائلة وسط علماء الفلك، وانتقل إلى الصحافة وكان موضوع غلاف مجلة «تايم» في عدد ٢٣ من مارس ١٩٨٧. ويرجع السبب في هذه الإثارة جزئياً إلى أهمية السوبرنوفا في حد ذاته - إنه أكبر الانفجارات التي وقعت منذ «الانفجار العظيم» الذي ولد منه الكون، ومصدر كل العناصر الثقيلة - بالإضافة لندرته. ففي مجرتنا، تم رصد أربعة انفجارات سوبرنوفا فقط على امتداد الألف عام الماضية،

وكان آخر تلك الانفجارات التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة قد وقع في مجرة أندروميديا (Andromeda) التي تبعد تبعد عنا بمسافة مليوني سنة ضوئية (أبعد بعشرة أضعاف من سوبرنوها ١٩٨٧)، وكان قد تم رؤيته في عام ١٨٨٥.

انفجارات عنيفة من الماضي

بدأت دراسة السوبرنوها، في سديم العصور القديمة، بسجلات لما أسماه علماء الفلك الصينيون بالـ «نجوم الضيوف»، في القرون التي سبقت ميلاد المسيح. بالطبع لم يكن يعرف هؤلاء الفلكيون ما الذي يرونه. لكنهم كانوا يعتبرون أن ظهور نجوم «جديدة» في السماء له دلالة كبيرة، واحتفظوا بسجلات لها. لكن للأسف، ليس من السهل دائماً حل شفرة هذه السجلات. إن بعض الأجسام التي سُجلت على أنها نجوم ضيوف قد تكون نجومًا جديدة أقل إثارة، وليست سوبرنوها، وقد يكون بعضها نوعًا مختلفًا تمامًا من الظواهر (نيزاك ربما). لكن أول إشارة معروفة للسوبرنوها هي كلام منقوش على قطعة عظم يرجع تاريخه إلى ١٢٠٠ قبل الميلاد، ويسجل ظهور نجم ساطع من لا مكان قرب نجم نسميه أنتار (Antares).

ويرجع أول تحديد غير مبهم لهوية السوبرنوها إلى ١٨٥ سنة بعد الميلاد، فهو يصف سطوع النجم وأقوله البطيء حتى يعود إلى الإظلام بشكل لا يترك مجالاً للشك بخصوص تحديد هويته. وعلى امتداد الألف عام التالية، سجل مراقبو السماء الصينيون خمسة سوبرنوها في مجرتنا، مجرة درب اللبانة، وقد أشار إلى بعضها مراقبون في أجزاء أخرى من العالم، بما في ذلك اليابان، مصر، واحتمالاً في الأمريكتين. وكان لأخر سوبرنوها تأثير كبير على علم الفلم الحديث - تأثير كبير، بالفعل، أكبر من أي شيء آخر خارج نظامنا الشمسي.

فلقد توهج السوبرنوها في السماء يوم ٤ من يوليو ١٠٥٤، وتآلق في تجمع نجوم برج الثور، وسُجلت آلاف احتضار نجم يبعد عنا ست آلاف سنة ضوئية. ورغم أن المراقبين اليابانيين والصينيين سجلوا الحدث، إلا أنه لا يوجد ما يثبت أن معاصريهم الأوروبيين فعلوا ذلك، مع أن النجم كان مرئيًا من أوروبا. ومما يثير الدهشة، أن سكان أمريكا الأصليين سجلوا ذلك السوبرنوها في شكل صور على الجدران الصخرية في أريزونا - ولو أنهم ما كانوا ليعرفوا المعنى الذي سيكتسبه يوم ٤ من يوليو في هذا الجزء من العالم بعد ذلك بقرون قليلة.

ولأن ذلك السوبرنوها كان حديثاً وقريباً جداً، بالمفهوم الفلكي، فقد ترك خلفه كتلة متوهجة من الغاز يمكن دراستها بشكل تفصيلي كبير بواسطة التلسكوبات الحديثة، وفي قلب هذه السحابة نجم كثيف نيتروني القلب وسريع الدوران حول نفسه، قابل للرصد كبولسار (نوع إشعاع لاسلكي فلكي) عند ترددات لاسلكية، في الضوء المرئي، وحتى باستخدام معدات الأشعة السينية. إن هذه السحابة السديمية السرطانية (سُميت كذلك لأن خطوطها الخارجية في بعض الصور الفلكية تشبه السرطان - إذا كان عندك خيال قوى) تمثل عملياً معملًا للفيزياء الفلكية، وموقعاً على عتبتنا الفلكية يمكن من خلاله رصد ومراقبة العديد من الظواهر واختبار عدة نظريات. إن دراسة هذه السحابة مهمة جداً، لدرجة أن علماء الفلك يطلقون مُزحة تقول إنه يمكن تقسيم الجانب الرصدي إلى جزئين متساويين تقريباً - دراسة السحابة السديمية السرطانية، ودراسة أي شيء آخر.

منذ عام ١٠٥٤، تم رصد حفنة من السوبرنوها، ولم ينشط الأوروبيون في هذا المجال إلا في عام ١٥٧٢. وقد حدث وشوهد آخر سوبرنوها في درب اللبانة في عام ١٦٠٤. ورغم أن يوهانز كيبلر (Johannes Kepler) درس هذا السوبرنوها بالتفصيل، فإن سجلاته اعتمدت بالكامل على مشاهدات وعمليات رصد بالعين المجردة، وإنه لأمر محبط بالنسبة لعلماء الفلك في الوقت الحالي. لقد تمت رؤية السوبرنوها من الأرض قبل خمس سنوات من أول مرة استخدم فيها جاليليو التلسكوب لدراسة السماء. وقبل اختراع التلسكوب الفلكي، كان معدل انفجار السوبرنوها في مجرتنا الذي يمكن رؤيته من الأرض، حوالي أربعة انفجارات كل ألف عام تقريباً. لكن الصدفة العمياء أتاحت ظهور سوبرنوها «مرتين» في مدى عمر إنسان، وذلك بين عامي ١٥٧٢ و ١٦٠٤. لكن في الفترة الممتدة من ١٦٠٤ إلى ١٩٨٧، وبينما تنتظر التلسكوبات فريستها، كان السوبرنوها الوحيد الذي شوهد بالعين المجردة ذلك الذي وقع في مجرة أندروميда، على بعد مليوني سنة ضوئية، وأمكن رؤيته من الأرض في نهاية القرن التاسع عشر. ويفسر ذلك الإثارة الكبيرة التي أحدثها سوبرنوها ١٩٨٧ وسط علماء الفلك، فرغم أنه لم يكن في درب اللبانة وإنما في المجرة المجاورة مباشرة، إلا أنه كان مرئياً بالطبع للعين المجردة، وأمكن دراسته تفصيلاً بشكل غير مسبوق بواسطة كل الأدوات والمعدات الموجودة حالياً التي أضيفت إلى تلسكوب جاليليو البسيط.

العودة إلى الحاضر

الأنباء التي تلقاها مكتب الاتحاد الدولي للفلك في كمبريدج بعد نصف ساعة فقط من التلكس الذي ورد من شيلي كانت من عالم الفلك النيوزيلندي، ألبرت جونز، الذي حدد مكان سوبرنوفا ١٩٨٧ في تلك الليلة. لكن ثبت في النهاية أن أهم تلك المشاهدات قام بها علماء فلك التقطوا صوراً روتينية للسحابة الماغلانية الكبيرة، وذلك حتى قبل رؤية السوبرنوفا. لقد صور روبرت مكنوت، في أستراليا، النجم الساطع قبل تحديد هويته كسوبرنوفا بحوالى ١٦ ساعة، واستخدم في ذلك كاميرا فلكية كبيرة تُعرف باسم تلسكوب شميت - لكن لم يتم تمييز الصور ودراستها إلا بعد ورود الأنباء من شيلي إلى أستراليا. وبعد حوالى ثلاث ساعات ونصف الساعة فقط، كان اثنان من علماء الفلك في نيوزيلندا يجريان قطعة توجيه جديدة على تلسكوب، وحدث أن اختارا السحابة الماغلانية الكبيرة كهدف لصورهم التجريبية. ومع المشاهدات التي حدثت في شيلي الليلة السابقة ظهر السوبرنوفا للعيان فجأة، وساعدت هذه الصور على تحديد توقيت الحدث، والسرعة التي توهج بها فجأة النجم السالف، ساندوليك - ٢٠٢^{٥٦٩}. وهى المرة الأولى التي أمكن فيها تحديد هوية النجم الذي أصبح سوبرنوفا على لوحات فوتوغرافية قديمة، بحيث نعرف بعض التفاصيل عن كينونته وماذا كان يفعل قبل أن يتوهج فجأة.

ولقد ساعد ذلك كله الفلكيين على اختبار نظرياتهم عن كيفية عمل السوبرنوفا، ويرجع تاريخ الرؤية النظرية الرئيسية إلى عام ١٩٣٤، أى ما يزيد على نصف قرن. فى ذلك الوقت، بعد اكتشاف النيوترون بأقل من عامين قدم والتر باد (Walter Baade) وفريتز زويسكى (Fritz Zwicky) الافتراض المثير القائل بأن «السوبرنوفا يمثل الانتقال من نجم عادى إلى نجم نيوترونى»، ورغم أن نصف قرن من التنظير والمشاهدات ورصد للسوبرنوفا البعيد قد أضاف الكثير إلى تفاصيل كيفية التى يحدث بها ذلك الانتقال، إلا أنه لا يمكن اختبار النظريات بشكل كامل إلا بدراسة سوبرنوفا قريب أثناء عمله.

وبحلول نهاية الثمانينيات، كان علماء الفلك مقتنعين، من خلال دراستهم للسوبرنوفا فى المجرات الأخرى، بأن هناك نوعين أساسيين ومختلفين من السوبرنوفا، فى كل منهما يتحول نجم عادى بالفعل إلى نجم نيوترونى، ويطلق على طول الطريق طاقة جاذبية من المخزون المتوافر لديه منها، مثلما قدرَ وليم طومسون ذلك بالضبط. وتُعتبر

فيزياء القرن التاسع عشر كافية لتفسير الطاقة المنطلقة في السوبرنوفا - لو كنت تعلم بوجود نجوم نيوترونية. إن الفرق بين السوبرنوفا والآلية التي افترضها طومسون للحفاظ على الشمس ساخنة هو أولاً فرق مقياس - حيث يتضمن تكون نجم نيوتروني من نجم عادي انهياراً مفاجئاً ومثيراً بحيث ينجم عن الطاقة المنطلقة أكبر انفجار منذ «الانفجار العظيم»، الذي أسفر عن ميلاد الكون. إن كتلة المادة التي يحتويها النجم النيوتروني تساوي تقريباً كتلة شمسنا، إلا أنها متكدسة في حجم يماثل حجم جبل على الأرض. وسيتكون مثل هذا النجم من كتلة أية مادة لم تعد تحتفظ بحرارتها الناجمة من الاندماج النووي في قلبه (نجم ميت)، شريطة أن تكون كتلتها أكبر قليلاً من الكمية الحرجة (أكبر قليلاً من كتلة شمسنا)، عندما تقهر قوة سحب الجاذبية للداخل القوى التي تعطى الذرات تركيبها. وإذا كانت الكتلة أكبر «بكثير» من ذلك، فإن حتى النيوترونات تنسحق من الوجود بواسطة قوة الجاذبية، وتحول النجم الميت إلى ثقب أسود. وبالتالي، فإن كتل النجوم النيوترونية المستقرة تتراوح فقط بين أكبر قليلاً من كتلة شمسنا وحوالي ضعف كتلة الشمس.

الطريقة الأولى لتكون سوبرنوفا (النوع الأول): إذا كسب نجم بارد ميت، كتلته «أقل» من الكتلة الحرجة، مادة من نجم مرافق. إن مثل هذا الجرم ينشأ كقزم أبيض، أي نجم ميت تساوي كتلته كتلة شمسنا تقريباً، وربما أقل قليلاً، أما حجمه فيساوي حجم الأرض. إن ذلك هو مصير شمسنا أن تنهى حياتها كقزم أبيض، لأن كتلتها لا تكفى لتجعل منها نجماً نيوترونياً وليس لديها أى رفيق تسرق كتلة منه. لكن إذا أصبح نجم مثل شمسنا قزماً أبيض ودار في مدار حول نجم آخر فإن بإمكانه أن يكسب كتلة، وذلك بسحب غازات من رفيقه عبر قوى المد والجذر وابتلاعها. وعندما تصل كتلة إلى القيمة الحرجة، تنهار الذرات المتكون منها النجم، وتندمج الإلكترونات مع البروتونات لتصبح نيوترونات. أما النجم، الذي تزيد كتلته على كتلة شمسنا، فإنه سينكمش من حجم الأرض إلى حجم جبل، ويطلق في هذه العملية الكمية المناسبة من طاقة الجاذبية.

لكن ليس ذلك ما حدث مع سوبرنوفا ١٩٨٧، فهناك طريقة أخرى لتكوين سوبرنوفا، تُعرف بالنوع الثاني. وطبقاً للنظرية، يحدث ذلك بالنسبة للنجوم ذات الكتلة الكبيرة جداً، قرب نهاية حياتها، عندما ينفد الوقود النووي اللازم للحفاظ على حرارة قلبها. وينهار تماماً الجزء الداخلى لمثل هذا النجم، والذي كتلته أكبر من الكتلة الحرجة

اللازمة للحصول على نجم نيوترونى، ويصل عندئذ إلى حالة النجم النيوترونى، دون التوقف عند حالة القمر الأبيض. وبالمقارنة، فإن قدرًا أكبر من الطاقة ينطلق فى ثوانٍ قليلة، ويعادل على الأقل مائة ضعف الطاقة التى تشعها شمسنا طوال حياتها، وتتفجر الطبقات الخارجية للنجم نحو الخارج بسرعة ٢٠ ألف كم/ث (فى حالة سوبرنوفا ١٩٨٧ كانت السرعة بالفعل ١٧ ألف كم/ث) وتتطلق موجة من التفاعلات النووية لتنتج عناصر ثقيلة لا يمكن أن تتكون طبيعياً بطريقة أخرى.

إن هذا الوصف العام لنوعى السوبرنوفا يمكن، مثل أغلب التعريفات البسيطة، إدخال تحسينات عليه وتقسيمه إلى فئات أصغر. وقد قسم الخبراء كل فئة رئيسة إلى فئتين فرعيتين على الأقل. لكن ذلك ليس مهماً الآن. إن الذى يهم هو أن سوبرنوفا ١٩٨٧ كان من النوع الثانى للسوبرنوفا، الذى يمثل أكثر أنواع الأحداث النجمية طاقة على الإطلاق. ولأن علماء الفلك تمكنوا من تحديد هوية النجم السالف، فإن بإمكانهم إعادة بناء تاريخ ذلك السوبرنوفا ابتداء من وقت مولد النجم وحتى الأحداث المثيرة التى تم رصدها فى عام ١٩٨٧.

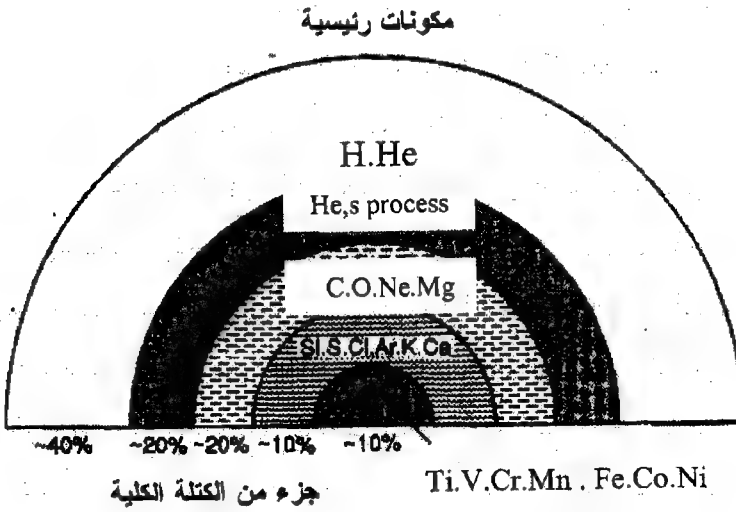
لقد أعيد تركيب هذه القصة، بالطبع، بمساعدة نماذج الكمبيوتر الخاصة بكيفية عمل النجوم التى سبق ذكرها من قبل. لقد طور علماء مختلفون نماذج مختلفة قليلاً فيما بينها تقول مجموعة من القصص المختلفة بعض الشيء، غير أن الخطوط العريضة متماثلة دائماً، وتعتمد الخطوط العريضة التى أعرضها هنا على نماذج استخدمها خبير السوبرنوفا ستان ووسلى (Stan Woosly) وزملاؤه. ويعمل ووسلى فى جامعة كاليفورنيا، سانتا كروز، (التي كان يعمل بها جون فولكنر). وكان ووسلى قد روى حكايته مع السوبرنوفا بقدر من التفصيل فى عدد أغسطس ١٩٨٩ من مجلة ساينتيفيك أمريكان (Scientific American). وطبقاً لهذا النموذج، فإن النجم الذى يعيننا وُلد منذ حوالى ١١ مليون عام، فى منطقة بالسحابة الماجلانية الكبيرة غنية بالغاز والغبار بشكل خاص. ولأن النجم يحتوى على مادة تبلغ ١٨ ضعف كمية المادة الموجودة فى شمسنا، كان عليه أن يحرق وقوده النووى بسرعة أكبر لى يولّد حرارة تكفى ليطماسك فى مواجهة سحب قوة الجاذبية الذى يعمل نحو الداخل. وبالتالي نفذ وقوده بشكل أسرع من وقود نجم كتلته مثل شمسنا، مما يجعله يضىء بشكل أكثر سطوعاً ٤٠ ألف مرة من الشمس. وفى غضون عشرة بلايين عام، كان هذا النجم قد حرق كل الهيدروجين الموجود فى قلبه

وحوله إلى هليوم. ونتيجة لذلك، انكمش القلب ببطء وأصبح أكثر سخونة حتى يمكن أن يبدأ احتراق الهليوم.

وخلال ذلك الطور من حياته، يصبح مثل هذا النجم ذو الكتلة الكبيرة نجماً عملاقاً أعظم، حيث تتضخم طبقاته الخارجية وتتمدد عبر مسافة تساوى تقريباً قطر مدار الأرض حول الشمس. ومن بين المفاجآت التي وجدها علماء الفلك عند فحصهم للصور القديمة للنجم ساندوليك - ٢٠٢^{٥٦٩}، سلف سوبرنوفا ١٩٨٧، إن هذا النجم لم يكن بالفعل عملاقاً أعظم أحمر لكن عملاقاً أعظم أزرق، وهو نوع من النجوم أصغر حجماً وأسخن بعض الشيء. لقد انكمشت الأجزاء الخارجية للنجم بعض الشيء مرة أخرى، وربما حدث ذلك قبل الانفجار بأربعين ألف عام. إن ذلك لا يؤثر على الفهم الأساسي للنوع الثاني من السوبرنوفا، وإن كان يعطى المنظرين كمية كبيرة من التفاصيل المثيرة التي يتعين عليهم بحثها وتفسيرها. ويوجد حالياً تفسير مفضل يقول، إن ذلك الانكماش المتأخر للجزء الخارجى للنجم يرجع إلى حقيقة أن السحابة الماجلانية الكبيرة تحتوى على كميات متواضعة نسبياً من العناصر الأثقل من الهليوم، على نقيض مجرتنا - مجرة درب اللبانة. أحد هذه العناصر المفقدة فى نجوم السحابة الماجلانية الكبيرة هو الأكسجين، الذى يساعد على انتفاخ العملاق الأعظم الأحمر، لأن الكمية الضئيلة من الأكسجين فى الجزء الخارجى من النجم تمتص الإشعاع الذى يحاول الهروب، وتمسك به فى الداخل مما يجعل النجم ينتفخ كالبالون. ومع وجود كمية أقل من الأكسجين، فإن «البالون» ينكمش مرة أخرى، عند بلوغ هذا النجم مرحلة تطوره حيث ينخفض قليلاً تدفق الإشعاع نحو الخارج. وأثناء استمرار احتراق الهليوم، من المحتمل أن النجم كان عملاقاً أعظم أحمر، لكن احتراق الهليوم يمكن أن يطيل بقاء النجم لفترة لا تتجاوز مليون عام فقط بعد انتهاء احتراق الهيدروجين فى قلب هذا النجم.

وفى السنوات الأخيرة من حياة ساندوليك - ٢٠٢^{٥٦٩}، والتي امتدت لبضعة آلاف من السنين، لا بد أنه استهلك إمكاناته الباقية لإنتاج الطاقة بسرعة متزايدة. إن الكربون، الذى هو نفسه ناتج عن احتراق الهليوم، قد تحول إلى خليط من النيون والمغنسيوم والصوديوم، و«احترق» النيون والأكسجين بدورهما (والأكسجين نتاج آخر لعملية احتراق الهليوم)، وفى النهاية استهلكت تفاعلات الاندماج النووى السيليكون والكبريت فى قلب النجم، بينما كانت كل أنواع الوقود النووى الأخرى تحترق فى

الطبقات الأبرد على التوالي في الاتجاه إلى الخارج انطلاقاً من المركز (شكل ١، ب). وطوال الفترة، تزداد سرعة التغير. وطبقاً للحسابات التي أجراها ووسلى وزملاؤه، يدوم احتراق الهليوم حوالي مليون عام، بينما لا يدوم احتراق الكربون سوى ١٢ ألف عام فقط، أما النيون فيحتفظ بالنجم ساخناً لمدة ١٢ عاماً، ويوفر الأكسجين الطاقة الضرورية لمدة أربع سنوات، في حين يحترق السليكون تماماً في أسبوع واحد، وعندئذ تبدأ الأمور في أن تصبح مثيرة بالفعل.



شكل (١ - ب): تركيب نجم ثقيل مثل سلف السوبرنوفا ١٩٨٧، قبل أن ينفجر مباشرة. القلب الفنى بالحديد مستعد للانفجار، وعمليات الاندماج المختلفة التي تم وصفها في النص تحدث جميعاً في مختلف الطبقات عبر النجم، وعند درجات حرارة أقل في كل طبقة متتالية.

الموت والمجد

يُعتبر احتراق السيليكون نهاية السلسلة حتى بالنسبة لنجم ذي كتلة كبيرة، لأنه ينتج خليطاً من الأنوية، تتضمن الكوبلت والحديد والنيكل، وهي من بين أكثر الترتيبات التي يمكن للبروتونات والنيوترونات أن تكونها استقراراً. تنطلق طاقة من عملية التصاق الأنوية الأخف وزناً لتكوين نواة حديد (طالما تم التغلب على الحاجز الكهربى بين تلك الأنوية). لكن التصاق أنوية الحديد مع أنوية أخرى لتكوين عناصر أثقل وزناً يستنفد الطاقة، بالإضافة إلى الطاقة اللازمة للتغلب على الحاجز الكهربى. تستطيع العناصر الأثقل أن تنشطر فعلاً لتكوين أنوية مثل أنوية الحديد، ومن ثم تنطلق طاقة في هذه العملية. هناك نوع من الوادى الطبيعى للطاقة بالنسبة للأنوية، حيث يحتل الحديد قاع

هذا الوادى فى حين تقع العناصر الخفيفة أعلى أحد جانبيه، أما العناصر الأثقل فتقع أعلى منحدره الآخر. و«تفضل» كل الأنوية أن تتدحرج إلى أسفل الوادى وتصبح حديدًا، العناصر الخفيفة عبر طريق الاندماج والعناصر الثقيلة عبر طريق الانشطار. وبهذا المعنى يكون الحديد والنيكل أكثر استقراراً. إذًا، من أين جاءت العناصر الأثقل من الحديد (الرصاص واليورانيوم وكل العناصر الأخرى)؟ أتت هذه العناصر من السوبرنوفا مثل سوبرنوفا ١٩٨٧. ورغم أن هذه المقولة اعتمدت على حسابات علمية أجريت قبل فبراير ١٩٨٧، فإن دراسات السوبرنوفا ١٩٨٧ قد أثبتت صحتها.

فى الواقع، هناك نوعان من العناصر لا يمكن إنتاجها داخل النجوم المنقررة. لا بد أن تكون أخف العناصر (الديوتريوم، الهليوم - ٣، ليثيوم، بيريليوم والبورون) قد أتت من مكان آخر، قبل تكون أول النجوم. ذلك «المكان الآخر» لا يمكن إلا أن يكون الانفجار العظيم، الذى ولد منه الكون. ويتم استنباط النموذج القياسى للكون عند بداية تكوينه بالرجوع بالتمدد المرصود حاليًا للكون إلى الخلف زمنيًا (فى خيائنا، وبمساعدة نماذج الكمبيوتر). إذا فعلنا ذلك، مثلما فعل جامو (Gamow)، فإننا نصل إلى «لحظة الخلق»، منذ حوالى ١٥ مليار عام، عندما كانت الكثافة لا نهائية. ولنترك جانبًا المعنى الدقيق لتلك اللانهائية، فإن علماء الكوزمولوجيا يمكنهم وصف كيف نشأ الكون ابتداء من الثوانى القليلة التى أعقبت لحظة خلقه، وذلك اعتمادًا على المعلومات المستمدة من فهمهم لفيزياء الجسيمات، وعلى وصف الكون المستمد من نظرية النسبية العامة.

فعندما كان «عمر» الكون حوالى ٢٥ ثانية، كانت درجة الحرارة حوالى أربعة مليارات درجة مئوية، وكثافة الطاقة طنين لكل لتر تقريبًا. وكانت كرة الغاز، التى هى الكون، تتكون أساسًا من نيوتريونات وفوتونات، مع آثار فقط من البروتونات والنيوترونات وأزواج الإلكترون - بوزيترون. وكانت كثافة «المادة» تُقدر بعشرة جرامات فقط لكل لتر - عشرة أضعاف كثافة الهواء الذى نتنفسه. عند هذه المرحلة، لا تستطيع البروتونات أن ترتبط كهرومغناطيسيًا مع الإلكترونات لى تكون ذرات هيدروجين مستقرة، لأن الذرات ستتحطم نتيجة إشعاع الطاقة الكثيف. وللسبب نفسه، لا تستطيع البروتونات والنيوترونات أن يتحدا لتكوين أنوية ديوتريوم.

لكن عندما بلغ عمر الكون دقيقة، كان قد تمدد وبرد بما يكفى لى تتكون أنوية ديوتريوم. وأطلق ذلك سلسلة من التفاعلات النووية، استمرت دقيقتين، وحولت كل

الديوتريوم تقريباً إلى هليوم، وأنتجت كميات صغيرة جداً من عدد قليل من عناصر أخرى خفيفة للغاية.

لكن مع استهلاك كل الديوتريوم، عند ازدياد معدل انخفاض درجة حرارة الكون، تتوقف تفاعلات الاندماج. وبعد ذلك بما يقرب من مائة ألف عام أصبح الكون بارداً (عند درجة حرارة سطح شمسنا تقريباً) لدرجة أن البروتونات المجردة وأنوية الهليوم ارتبطت مع الإلكترونات لتكوين ذرات.

إن نسبة المادة الأصلية التي تتحول إلى هليوم تتوقف على مدى سرعة تمدد الكون في مراحله الأولى. ويتوقف ذلك بدوره على عدد أنواع الجسيمات الأولية الموجودة، والطريقة التي تتفاعل بها فيما بينها. ومع الأخذ في الاعتبار كل هذه العوامل (بما في ذلك آخر إثبات بأن هناك ثلاثة أنواع فقط من النيوترونات)، فإن النموذج القياسي يقول لنا إن حوالي ٢٣٪ من المادة في الكون في مراحله الأولى قد تمت معالجتها لتتحول إلى هليوم. ومما يثبت بشكل جلي صحة النموذج القياسي للانفجار العظيم، حقيقة ما نراه من أن كتلة النجوم القديمة تتكون بنسبة ٢٥٪ من الهليوم - وهو نموذج يأخذ في اعتباره وجود كميات صغيرة من الليثيوم والعناصر الخفيفة الأخرى في كوننا.

إذاً، مصدر العناصر الأخف هو الانفجار العظيم، أما كل العناصر الأخرى وصولاً إلى الحديد فيمكن إنتاجها داخل النجوم ذات الكتل الكبيرة. ويستطيع المنظرّون في مجال فيزياء الجسيمات، اعتماداً على دراسات زملائهم التجريبيين، أن يفسروا أيضاً كيف يمكن أن يتم إنتاج عناصر أثقل من الحديد، شريطة أن تكون الأنوية سابحة في بحر من النيوترونات. وينتج السوبرنوفا النيوترونات بوفرة - مع أن هناك في الواقع، عمليات ألطف بكثير تعمل أيضاً على تحويل العناصر الأخف كتلة في الكون إلى عناصر أثقل.

ويتم إنتاج أغلب العناصر الأثقل من الحديد، وكذلك بعض نظائر العناصر الأقل كتلة منه، عندما تقتنص الأنوية الناتجة من عمليات الاندماج النووي نيوترونات من محيطها داخل النجم. لكن أي نيوترون حر يكون في حد ذاته غير مستقر، وإذا تُرك لدقائق قليلة فإنه يتحول إلى بروتون بعد أن ينبعث منه إلكترون نتيجة انحلال بيتا. وبالتالي، يتعين أن تكون النيوترونات الداخلة في عمليات القنص تلك قد انطلقت حديثاً من تفاعلات نووية أخرى. وهو ما لا يمثل مشكلة داخل أي نجم يستمر الاحتراق النووي

داخله. فعلى سبيل المثال، في كل مرة تندمج نواة ديهوترיום ونواة تريتيوم لإنتاج نواة هليوم - ٤، ينطلق نيوترون، وتوفر هذه التفاعلات وغيرها كمية كبيرة من النيوترونات داخل النجوم - حوالي مائة مليون نيوترون في كل سنتيمتر مكعب من المنطقة المعنية في النجم. وتستطيع هذه النيوترونات أن تتفاعل مع أنوية أخرى.

إن إضافة نيوترون واحد للنواة يزيد كتلتها بوحدة واحدة، لكنه لا يغير من شحنتها الكهربائية أو خواصها الكيميائية - وإنما تصبح نواة نظير مختلف للعنصر نفسه، إلا أنه في العديد من الحالات، يكون النظير المتكون حديثاً غير مستقر، وبعد فترة من الزمن (ثوانٍ قليلة، في بعض الحالات، وعدة سنوات في حالات أخرى) سيقذف بالإلكترون نتيجة انحلال بيتا، حيث يتحول أحد نيوتروناته إلى بروتون ليصبح عنصراً مختلفاً. إذاً، يمكن أن تتكرر كل هذه العملية، عندما تأسر النواة نفسها نيوتروناً آخر. هذا البناء التدريجي للعناصر الثقيلة، حيث يتوافر للنواة الوقت للتحويل إلى شكل مستقر وسط التفاعلات مع النيوترونات، يُعرف بالعملية البطيئة لأسر النيوترون ويُرمز لها بالحرف "S".

لكن عند توافر عدد كبير من النيوترونات، كما يحدث بالتأكيد أثناء المراحل الأولى للسوبرنوفا نتيجة للتفاعلات المتفجرة التي تحدث آنذاك، تستطيع النواة أن تأسر العديد من تلك النيوترونات الكثيرة المتوافرة قبل أن يُتاح لها الوقت لكي تلفظ إلكترونات، أو تنحل بأية طريقة أخرى. ويتطلب حدوث ذلك توافر كثافة تُقدر بحوالي ٣٠٠ مليار (10^{11}) نيوترون لكل سنتيمتر مكعب من مادة النجم. وعندما تتحقق هذه الكثافة الموهولة من النيوترونات ولوقت قصير عند انفجار السوبرنوفا، يحدث تكون سريع لعناصر ونظائر لديها هائض من النيوترونات، وتكون كلها تقريباً غير مستقرة. وتُسمى تلك العملية بعملية الأسر السريعة للنيوترون ويُرمز لها بحرف "R". وبمجرد أن يتم امتصاص موجة النيوترونات، فإن الأنوية غير المستقرة، والفنية بالنيوترونات ستتحل إلى أنوية مستقرة، بأن تفقد نيوترونات (حيث تحولها إلى بروتونات) وتصبح أشبه ما تكون بالنظائر الناتجة عن العملية البطيئة. ويتم إنتاج العديد من النظائر بالطريقتين (البطيئة والسريعة). غير أن حفنة من الأنوية المستقرة الفنية بعض الشيء بالنيوترونات لا تُنتج إلا بواسطة العملية السريعة لأسر النيوترونات ثم انحلال بيتا اللاحق. ولقد أحصى علماء الفيزياء الفلكية ٢٨ نظيراً فقط لا يمكن إنتاجها إلا عن طريق العملية البطيئة لأسر النيوترونات وحدها.

فى رسم بيانى يبين عدد النيوترونات فى النواة مقابل عدد البروتونات، تقع النظائر المستقرة فى شريط قُطرى تقريباً، وعلى طول هذا الشريط يكون عدد النيوترونات فى النواة أكبر قليلاً من عدد البروتونات. وتقع العناصر التى تكونت بالعملية البطيئة لأسر النيوترونات (والتي نتجت عن انحلال بيتا اللاحق لعناصر عملية الأسر السريعة للنيوترونات) فى مسار متعرج عبر «وادي الاستقرار» هذا. أما النظائر غير المستقرة الناتجة عن العملية السريعة لأسر النيوترونات فتقع بعيداً على اليمين، فى نصف الرسم الذى يضم أنوية غنية بالنيوترونات، وعند انحلالها تنتقل نحو قاع وادي الاستقرار، «منهمرة» على عناصر الطريقة البطيئة لأسر النيوترونات. (انظر شكل ٢ - ب). وتنتهى الطريقتان بعناصر ذات كتلة كبيرة جداً حيث تنقسم الأنوية، سواء بانحلال ألفا (وتنتقل نواة هليوم) أو بعملية انشطار (وينتج عنه نواتان متساويتان تقريباً لكل منهما حوالى نصف كتلة النواة التى انشطرت).

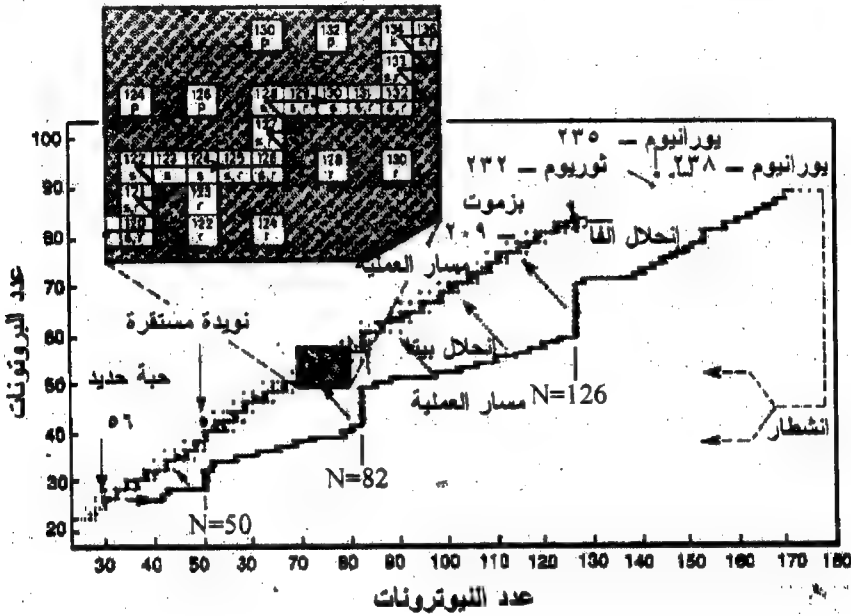
وتُعتبر هاتان العمليتان مفهومتين بشكل جيد جداً. إن الدراسات الخاصة بطريقة تفاعل النيوترونات مع الأنوية فى تجارب هنا على الأرض، بالإضافة إلى نماذج الكمبيوتر عند الظروف داخل النجوم، تفسر بشكل مُرضٍ كيف تكونت كل العناصر المعروفة تقريباً. والاستثناءات الرئيسية لذلك هى بعض النظائر الغنية بالبروتونات، التى يُعتقد أنها تكونت بواسطة عملية أسر للبروتون، وإن كان ذلك ليس مفهوماً بشكل تام. وهناك أيضاً بعض النظائر النادرة التى تنتج فى الفضاء من تفاعلات تدخل فيها الأشعة الكونية. لكن لا يمثل ذلك سوى ظواهر ثانوية. لقد أثبتت الدراسات الخاصة بسوبرنوها ١٩٨٧ كيف أن علماء الفيزياء الفلكية يفهمون بشكل جيد حقاً طريقة تكون العناصر فى السوبرنوها، لكننى لا أنوى أن أغوص فى التفاصيل. إن الشيء الرئيس الذى يتعين تذكره هو أن تكوين العناصر الأثقل من الحديد يتطلب «مدخل» من الطاقة، وترد هذه الطاقة من انهيار قلب السوبرنوها نتيجة قوة الجاذبية وتحوله إلى نجم نيوترونى.

السوبرنوها من الداخل إلى الخارج

باستثناء حالة شمسنا، حيث أمدتنا دراسات النيوتريно بمعلومات مباشرة موثقة عن الظروف فى قلب الشمس، فإننا لا نستطيع أن ندرس بشكل مباشر أيًا من العمليات النووية أثناء تفاعلها داخل النجوم. إن عمليات الرصد التى وفرت المدخلات لنظريات الفيزياء الفلكية الخاصة بالنجوم واختبارات تلك النظريات هى دراسات غير مباشرة

للمادة التي قُذِف بها من داخل النجوم. فالمادة يجب أن تُعالج أولاً داخل النجم، ثم تُحمل إلى السطح وتُقذف إلى الفضاء، وعندئذ يمكن دراستها من الأرض بالطريقة التي تستند على أن العناصر المنتجة إما أنها تشع الضوء أو تمتصه. إن كل شيء يجب أن ينسجم معاً - ولقد حدث ذلك بالفعل.

ويوضح مثال بسيط ماذا يعنى ذلك. طبقاً لنظرية فيزياء الجسيمات، يجب أن تحول دورة الكربون - النيتروجين (C-N) عنصر الكربون إلى نظير النيتروجين الأكثر انتشاراً،



شكل (٢ - ب) : العمليات البطيئة والسريعة لأسر النيوترونات أثناء عملها. تتكون العناصر الثقيلة المستقرة من الحديد - ٥٦ بواسطة عملية الأسر البطيئة للنيوترونات التي سبق وصفها في النص. وتقع هذه العناصر على خط قطري (وادي الاستقرار) في هذا الرسم البياني. ويبين الرسم المصغر بالتفصيل العملية البطيئة لأسر النيوترونات، وتكوينها أنوية جديدة بامتصاص نيوترون (متحركة مسافة واحدة نحو اليمين)، ثم تقذف إلكترونات كما هو مطلوب (متحركة إلى أعلى وإلى اليسار). ويشير العدد في كل خانة إلى إجمالي عدد الجسيمات (بروتونات+نيوترونات) في كل نواة. والرمز "S" يشير إلى أن هذا العنصر بالذات يمكن إنتاجه بواسطة العملية البطيئة، والرمز (T) يشير إلى أن هذا العنصر يمكن إنتاجه بواسطة العملية السريعة، والحرف (P) يشير إلى عناصر تكونت بواسطة العملية P التي لا تزال غير مفهومة بشكل جيد.

وعندما يتوافر عدد كبير من النيوترونات، هي انفجار السوبرنوفا، تتكون سريعاً الأنوية الغنية بالنيوترونات عبر العملية السريعة (الخط الأدنى). وعندئذ تتحل تلك الأنوية وينبعث منها إلكترونات (انحلال بيتا)، وتنهمر إلى وادي الاستقرار. أما الأنوية الثقيلة جداً، فتتقسم من خلال عملية انحلال ألفا أو عملية انشطار.

وهو نيتروجين - ١٤، وفي الوقت نفسه، تقلل سلسلة التفاعلات كمية النظير كربون - ١٣ المتصل بالكربون - ١٢، ووفقاً لنظريات الفيزياء الفلكية، يتعين أن تختلط كل نواتج هذه التفاعلات بسطح النجوم العملاقة الحمراء. وعندما تم تحليل الضوء المنبعث من النجوم العملاقة الحمراء بواسطة التحليل الطيفي، وجد العلماء خليطاً من نظائر الكربون والنيتروجين الذي تنبأت به النظرية.

وتثبت أيضاً سحب الغاز («الغيوم السديمية الكوكبية») الناتجة عن انفجارات نجمية صغيرة نسبياً (مجرد نجوم مستقرة) (*) أن الخليط «الصحيح» من العناصر والنظائر يتفق مع نوع الطبع النجمي للعناصر الذي سبق وصفه في هذا الكتاب. ولكن كما أن السوبرنوفا يوفّر أكبر مدخل طاقة لتكوين العناصر الثقيلة، فإنه أيضاً يوفّر أكبر انفجار عنيف لقذف مادة إلى الفضاء، وبذلك يمنح علماء الفلك أفضل الفرص لدراسة المادة النجمية. لقد تم تحديد هوية بقايا العديد من السوبرنوفا القديمة، وجرت دراستها بواسطة التحليل الطيفي، لكن كان هناك دائماً عقبة خفية. إن سحابة الغاز التي يقذف بها انفجار السوبرنوفا إلى الفضاء تجرف الغاز والغبار من بين النجوم عند تحركها عبر الفضاء. وبالتالي عندما يدرس علماء الفلك سحابة المادة المتوهجة اليوم، بعد مئات أو آلاف السنوات من انفجار السوبرنوفا الذي أضاء ليل سماء أسلافنا، فإنهم لا يستطيعون فصل المعلومات التي يريدونها والخاصة بالعناصر المنتجة في السوبرنوفا ذاته. لكن سوبرنوفا ١٩٨٧ كان مختلفاً، حيث تم التقاط شرائح فوتوغرافية له قبل وأثناء وبعد انفجاره.

وفقاً لنظرية الفيزياء الفلكية، يحدث قبل انفجار السوبرنوفا مباشرة أن تتنظم في أغلفة حول القلب كل التفاعلات النووية القياسية التي تؤدي إلى تكوين عناصر مجموعة الحديد، وبالإضافة إلى ذلك فإن المنظرين على يقين بأن العملية البطيئة لأسر النيوترونات تقوم بعملها في المنطقة الغنية بالكربون والأكسجين من النجم (شكل ١ - أ). إن احتراق السيليكون، كما سبق أن ذكرنا، يجعل النجم يتماسك لمدة أسبوع فقط في مواجهة جذب قوة الجاذبية نحو الداخل (وهو ما حدث بالنسبة للسوبرنوفا ١٩٨٧، غير أنها مدة كافية، سمحت لأيان شيلتون أن يحصل على المسح الفوتوغرافي للسحابة الماجلانية الكبيرة)، ويتبقى بعد ذلك قلب يتكون من أكثر الأنوية استقراراً - أنوية

(*) نجوم يتعاضم ضياؤها فجأة ثم يخبو في بضعة شهور أو بضع سنوات. (المترجم).

الحديد والنيكل وباقي هذه المجموعة - التي لا تستطيع إطلاق طاقة «سواء» بالاندماج أو بالانشطار (ومع ذلك، فإن بعض أنوية مجموعة الحديد تلك يمكن أن تنحل إلى الحديد ذاته). وبعد أحد عشر مليون عام، يصبح قلب النجم بدون وسائل دعم، ومن ثم ينهار خلال بضعة أعشار من الثانية، ويتحول إلى كتلة لا يزيد قطرها على مائة كيلومتر. وأثناء هذا الانهيار الأول، تقوم فوتونات ذات طاقة عالية جداً بشطر أنوية الحديد إلى نصفين، وتبطل بذلك عمليات الاندماج النووي التي استمرت أحد عشر مليون عام، وتنضغط الإلكترونات داخل الأنوية نتيجة ضغوط هائلة، حتى إن انحلال بيتا يعمل في الاتجاه العكسي ويحول البروتونات إلى نيوترونات. وتوفر قوة الجاذبية الطاقة اللازمة لكل ذلك، ولا يتبقى بعد ذلك، سوى كرة من مادة النيوترون، عبارة عن «نواة ذرية» عملاقة، قطرها مائتا كيلومتر وتحتوي حوالى مرة ونصف كتلة شمسنا.

كان انضغاط المادة الساقطة إلى الداخل كبيراً جداً، حتى إن مركز كرة النيوترون ينضغط لكثافات أكبر حتى من تلك التي في نواة الذرة. عندئذ ترتد هذه المادة، مثل كرة جولف انضغطت في قبضة حديدية ثم أطلقت بعد ذلك، وترسل موجة صدمة عبر مادة كرة النيوترون، وإلى النجم من ورائها. وتدفع مادة من المناطق الخارجية لقلب النجم نحو الداخل بسرعة تعادل ربع سرعة الضوء تقريباً. وتقابل صدمة الارتداد من مادة القلب النيوتروني، وتنقلب من الداخل إلى الخارج، لتصبح موجة صدمة تتطلق بأقصى سرعة «نحو الخارج» عبر النجم. وتفجر موجة الصدمة تلك النجم إلى أجزاء - لكن بعد أن يؤدي فيض النيوترونات المنبعث من كل هذا النشاط إلى إنتاج كمية كبيرة من العناصر الثقيلة عبر عملية الأسر السريعة للنيوترونات.

أما النيوتريونات فإنها تتفادى الصدمة بسهولة، لأنها تنتقل بسرعة الضوء تقريباً (وبسرعة الضوء بالضبط إذا كانت كتلة النيوتريينو صفراً)، في حين تتحرك موجة الصدمة بسرعة تُقدر بحوالى ٢٪ من سرعة الضوء، حتى بعد حصولها على قوة دفع من النيوتريونات، وتستغرق ساعتين لكي تدفع بالطبقات الخارجية للنجم في الفضاء ويضئ النجم بشكل مرئي - ولذلك يتم التقاط النيوتريونات بواسطة أجهزة الرصد الأرضية مباشرة قبل أن يسطح النجم.

وبينما يجري كل ذلك، ورغم أن القلب الحديدي للنجم قد تحول إلى كرة من النيوترونات، يتعين، طبقاً للنظرية، أن يحدث في المناطق الخارجية البعيدة عن قلب

النجم، فى موجة الصدمة الساخنة، ذات الضغط العالى، انفجار شديد من التفاعلات النووية، ينتج عناصر مجموعة الحديد. وأغلب العناصر التى نتجت داخل النجم من مثل تفاعلات الاندماج تلك قد تكونت بالفعل من عمليات إضافة متتالية لجسيمات ألفا (أنوية هليوم - ٤، تتكون كل نواة من بروتونين ونيوترونين متحدّين معاً)، ولأنوية هذه العناصر عدد متساوٍ من البروتونات والنيوترونات، ومن الأمثلة النموذجية على ذلك نواة ذرة الكربون - ١٢ (٦ بروتونات و٦ نيوترونات)، ونواة ذرة الأكسجين - ١٦ (٨ بروتونات و٨ نيوترونات). وطبقاً للنظرية، عندما تتم معالجة هذه الأنوية بتفاعلات انفجارية يتحول أغلب المادة إلى نيكل - ٥٦، وتحتوى كل نواة منه على ٢٨ بروتوناً و٢٨ نيوترونًا. لكن النيكل - ٥٦ ليس مستقرًا، فهو يتحلل، وينبعث منه بوزيترونات نتيجة تحول البروتونات إلى نيوترونات (نقيض انحلال بيتا). ويبلغ العمر النصفى للخطوة الأولى من هذا الانحلال حوالى ستة أيام، وينتج عنها كوبالت - ٥٦، الذى يتحلل بدوره إلى حديد (٢٦ بروتوناً و٣٠ نيوترونًا) ويُقدّر عمره النصفى بحوالى ٧٧ يومًا.

لقد تم بناء النيكل - ٥٦ غير المستقر بواسطة مدد من طاقة قوة الجاذبية الناجمة من انهيار قلب السوبرنوفا. ويتخلل هذا النيكل عن بعض الطاقة المقترضة عند انحلاله. إن النظرية القياسية الخاصة بالسوبرنوفا، والتى تم تطويرها قبل انفجار سوبرنوفا ١٩٨٧، قد تنبأت بأن كل الطاقة تقريباً التى يشعها النجم خلال المائة يوم الأولى من حياته كسوبرنوفا، تأتى من انحلال الكوبالت - ٥٦ وتحوله إلى حديد - ٥٦. ويتم هذا الانحلال وفق نمط مميز، هو منحنى أس متناقص، ويتم أقول السوبرنوفا نفسها وفق المنحنى المفترض بالضبط. وخلال المائة يوم الأولى، أثبت هذا الدليل، أن ٩٣% من طاقة السوبرنوفا مستمدة فعلاً من انحلال الكوبالت - ٥٦، وبالفعل، لا يزال الأقول البطيء للسوبرنوفا يتبع المنحنى الخاص به وذلك حتى نهاية ١٩٨٩، عندما كنت أنتهى من هذا الكتاب، أى بعد مرور حوالى ثلاث سنوات على رصد شيلتون لسطوع السوبرنوفا لأول مرة. ويقول روجر تيلور عالم الفيزياء الفلكية بجامعة سوسكى إن هذه المشاهدات عن انحلال الكوبالت «قد تكون أهم المشاهدات المتعلقة بأصل العناصر وأكثرها إثارة، حيث تؤكد أن النموذج النظرى صحيح بشكل كبير».

إن تايلور لم يكن يشير فقط إلى «منحنى الضوء»، كما يُسمى. فعندما تتحرك فى الفضاء المادة المقذوفة من السوبرنوفا إلى الخارج، تتكشف طبقات متتالية من المكونات

الداخلية للسوبرنوف لتلسكوبات المراقبين الذين يتابعون بصبر، نوعاً من الإستريبتيز الكونى. لقد تمكنوا، أخيراً، من مشاهدة خروج مادة من المناطق التى من المفترض أن تحدث فيها التفاعلات النووية - وكانت دراساتهم الخاصة بالتحليل الطيفى قد كشفت الخطوط المميزة المرتبطة بعنصر النيكل - ٥٦، تماماً كما كان متوقعاً، وأشارت إلى أن كمية النيكل - ٥٦ التى صُنعت فى السوبرنوف تكافئ ٨٪ من كتلة شمسنا (مع الأخذ فى الاعتبار التحلل الذى حدث قبل وقت رصد ومشاهدة هذا الجزء من النجم) - وهو ما يتفق بشكل كبير مع الحسابات النظرية. كما كشفت دراسات التحليل الطيفى عن وجود باريوم، وسترنشيوم وسكانديوم - وكلها عناصر نتجت عن عملية الأسر البطيئة للنيوترونات قبل أن يصبح النجم سوبرنوفاً. وإن دراسة الهليوم والنيتروجين فى أقصى الطبقات الخارجية من سحابة المادة الممتدة حول السوبرنوفاً، قد ساعدت علماء الفيزياء الفلكية فى تحسين فهمهم لكيفية اختلاط المادة الناتجة من دورة الكربون - النيتروجين (C-N) مع سطح النجم.

بالطبع كانت هناك مفاجآت أيضاً، فلم تكن تفاصيل سلوك السوبرنوف ١٩٨٧ تتفق بدقة فى كل حالة مع تفاصيل النظريات، وبالتالي، فإن المجال واسع أمام علماء الفلك لصقل فهمهم لكيفية انفجار مثل تلك النجوم. لكن ذكر التنبؤات الجديدة الخاصة بالطريقة التى يتكون بها الكربون والعناصر المرتبطة به وطريقة اختلاطها بالكون يقدم إشارة إلى ضرورة إنهاء مناقشتى الحالية. إن تلك العناصر - الكربون والأكسجين والنيتروجين - هى فى النهاية، العناصر التى نتكون منها بشكل كبير، كما تشكل أهمية قصوى بالنسبة للحياة كما نعرفها. وتحمل مشاهدات صورة الطيف لهذه العناصر فى سحابة المادة الممتدة حول سوبرنوف ١٩٨٧ رسالة تذكير بأنه فى الوقت الذى سجل هذا الانفجار وفاة نجم فإنه سجل، وبشكل حرفى، بداية قصة أشكال من الحياة مثل حياتنا. وإذا لم تكن هناك تلك الأجيال السابقة من انفجارات السوبرنوف التى نثرت نصيبها من الكربون، والنيتروجين، والأكسجين، وعناصر أخرى عبر الفضاء الواقع بين النجوم منذ مليارات السنين، ربما ما كنا هنا، نتساءل عن الغاز مثل مشكلة النيوتريون، وكيف تبقى الشمس ساخنة طوال ذلك الوقت، ولماذا ترن مثل الجرس. وبقدر ما يتعلق الأمر بأشكال حياة مثل حياتنا، فإن قصتى تنتهى، فى الواقع، فى البداية.

ثَبَّتَ المراجع

إذا كنت تريد معرفة المزيد عن أسرار الشمس، فإن الكتب التالية ستزودك بمعلومات أكثر تفصيلاً عن بعض الموضوعات التي قمت بمناقشتها:

١ - Peter Atkins, the second law, scientific American/W. H. Freeman, New york, 1984.

تقرير عن أهمية الديناميكا الحرارية لفهمنا للعالم، لا يحتوى على رياضيات وسهل الفهم.

٢ - Peter Brent, Charles Darwin, Heinemann, London, 1981. ، سيرة «مبسطة» توضح ما يدين به دارون لـ «ليل» (Lyell).

٣ - Joe Burchfield, Lord Kelvin and the Age of the earth, Macmillan, London and New york, 1945.

القصة النهائية لإسهام كلثن في الجدل حول عمر كل من الأرض «و» الشمس. هذا الكتاب مفيد بالنسبة للمتخصصين، أو أى شخص تستهويه قصة كيف تطور العلم في القرن التاسع عشر.

٤ - Subrahmanyam Chandrasekhar, Eddington, Campridge University Press, 1983.

دراسة صغيرة، تستند على المحاضرات التي ألقاها المؤلف في كمبريدج احتفالاً بمرور مائة عام على ميلاد إدينجتون. وأفضل ما وصفه به «إنه أكثر علماء عصره تميزاً في مجال الفيزياء الفلكية».

Frank Close, the Cosmic Onion, Heinemann Educational Books, - ٥
London, 1983.

لا تجعل كلمة «تربوى» في اسم الناشر تصدك عن الكتاب، فهو دليل سهل التناول وسريع لعالم الجسيمات، وهو من أفضل الكتب في هذا المجال، وسيضع النيوتريينو بشكل خاص في مكانه بالنسبة لك.

Frank Close, Michael Martin, Christine Sutton, The Particle Ex- - ٦
plosion, Oxford University Press, 1984.

تاريخ مُصور لكل الجسيمات المعروفة ابتداء من الإلكترون إلى الـ W والـ Z، معروض بشكل رائع. لقد تضافرت مواهب كلوز، عالم فيزياء الجسيمات، ومارتن، الباحث في مجال الصور العلمية، والكاتبة العلمية سوتون، لإنتاج كتاب يجمع بين الفائدة العلمية والجمال. لكن للأسف، لم يتناولوا الجسيمات التي لم يتم رصدها، مثل الأكسيون والوييمب. ويقدم الكتاب معلومات جيدة جداً عن النيوتريونات، وإن كانوا لم يعطوا رأي دافيز ما يستحقه من تقدير.

Charles Darwin, The Origin Of Species By Means Of Natural Se- - ٧
lection, Pelican, London, 1968.

نسخة سهلة التناول من البحث الكبير، وهي طبعة معادة تتضمن أيضاً بعض المادة الأخيرة، لكنها أساساً الطبعة الأولى التي صدرت عام ١٨٥٩. لقد أوضح دارون من البداية أن الوقت المطلوب للتطور لكي يقوم بعمله أكثر بكثير من بضعة آلاف من السنوات، كما قدر أيضاً الوقت الذي يتعين أن تكون قد استغرقت القوى الطبيعية لتشكيل صفحة الأرض.

Arthur Eddington, The Internal Constitution Of The Stars, Dover, - ٨
New York, 1959.

هذه هي النسخة المتاحة حالياً، النسخة الأصلية صدرت عام ١٩٢٦ وقامت بنشرها Cambridge University Press، وفي النهاية فإن نص Dover مثل النسخة الأصلية. وهو مرجع للفيزياء الفلكية، ليس بالشئ الذي تتصفحه للقراءة

الخفيفة، لكن إذا كان نديك الخلفية العلمية اللازمة لذلك فإنه يستحق تماماً البحث عنه والجد في طلبه.

kendrick Frazier, Our Turbulent Sun, Prentice - Hall, New Jersey, - ٩
1982.

رؤية صحفية لألغاز مثل ندرة النيوتريونات الشمسية، ودورة بقع الشمس، والارتباط بين نشاط الشمس والمناخ على كوكب الأرض. كتاب لطيف للقراءة الخفيفة في الموضوع، وإن كانت مفيدة.

Herbert Friedman, Sun And Earth, Scientific American/ W.h. - ١٠
Freemahn, New York, 1986.

دليل مصور، يناسب الشخص العادي، ويرسخ المعرفة الجارية عن الشمس وتأثيرها على الأرض، مع تأكيد، أكبر مما أقدم هنا، على جانب الرصد التقليدي لعلم الفلك.

George Gamow, A Star Called The Sun, Viking Press, New - ١١
York, 1964.

هذا الكتاب نفد، ولكنه يستحق أن تحاول البحث عنه في محلات بيع الكتب القديمة أو المكتبات العامة. وهو سهل القراءة، مثل كل كتب جامو التي تعمل على تبسيط العلوم، وهو زاخر بالأمثلة الضاحكة وإن كانت دقيقة علمياً. هذا الكتاب بالذات مثير للاهتمام بشكل خاص لأنه يتضمن أبحاث جامو الخاصة بانحلال ألفا التي أدت إلى فهم كيف يمكن أن يحدث الاندماج النووي داخل الشمس عند درجة حرارة لا تتجاوز ١٥ مليون درجة «فقط». ويستحق هذا الكتاب أن يُقرأ وإن كان قد تجاوزه الزمن بعض الشيء.

John Gribbin, In Search Of Shrödinger's Cat, Corgi, Lonon, And - ١٢
Bantom, New York, 1984.

قصة ثورة الكم التي تلت الفيزياء في الثلث الأول من القرن العشرين.

John Gribbin, In Search Of The Big Bang, Heinemann, London, - ١٣
And Bantam, New York, 1986.

المزيد عن العلاقة بين فيزياء الجسيمات والكوزمولوجيا.

- John Gribin, The Omega Point, Heinemann, London, 1987. - ١٤
- كتاب عن المصير النهائي للكون، ويتضمن مناقشة للديناميكا الحرارية ولطبيعة الزمن.
- John Gribin And Martin Rees, Cosmic Coincidences, Bantam, New York, 1989 - ١٥
- (صدر فى بريطانيا عن heinemann بعنوان: Stuff Of The Universe) المزيد عن أنواع مختلفة من المرشحين للمادة المعتمدة فى الكون.
- Fred Hoyle, The Nature Of The Universe, Blackwell, Oxford, 1950. - ١٦
- كتاب موجز، يستند على مجموعة أحاديث إذاعية للمؤلف فى إذاعة الـ بي. بي. سي، وهو يتضمن فصلاً عن الشمس، كما يقدم، بين أشياء أخرى، الإسهام الرئيس الذى أدى إلى كشف سر كيف تتكون العناصر داخل النجوم، لذلك فهو كتاب مثير للاهتمام تاريخياً وزاخر بالأمثلة القوية. غير أنه نقد من الأسواق من فترة طويلة، ولا داعى لبذل جهد كبير للحصول عليه إذا لم تتمكن من العثور عليه بسهولة.
- Mick Kelly And John Gribin, Winds Of Change, Headway, London, 1989. - ١٧
- المزيد عن تأثير الصوبة، الذى أشرت إليه هنا باختصار فى الفصل السادس، والذى قد يكون أكثر مشكلة ضاغطة تواجه الجنس البشرى فى القرن الواحد والعشرين.
- Clive Kilminster, Sir Eddington, Pergamon, Oxford And New York 1966. - ١٨
- كتاب عن إدينجتون وأبحاثه ومكانته فى العلم، وهو يتضمن استشهادات كثيرة ومطولة من أهم ما نشره، بما فى ذلك كتابه: The Internal Constitution Of The Stars. وكتاب Clive موجه بالذات للطلاب الذين يدرسون تاريخ العلم.
- Rudolf Kippenhahn, 100 Billion Suns, Weidenfeld And Nicolson, London, 1983. - ١٩
- تقرير مبسط وسهل القراءة عن الكيفية التى تعمل بها النجوم يقدمه رائد ألمانى فى مجال الفيزياء الفلكية.
- Hubert Lamb, Climate, History and the Modern World, Methuen, London and New York, 1982. - ٢٠

أفضل دليل للتغيرات المناخية عبر الأزمنة التاريخية، وتأثير تلك التغيرات على أعمال البشر. ويضم إشارة مختصرة عن بقع الشمس، وجزءاً كبيراً عن العصر الجليدى الصغير.

Kenneth Lang And Owen Gingerich, A Source Book In Astronomy - ٢١
And Astrophysics, 1900-1975, Harvard University Press, 1979.

كنز رائع من الأبحاث العلمية التاريخية النفسانية، غير أنه ضخيم وباهظ الثمن بحيث يصعب أن تشتريه لنفسك، لكنه يستحق أن تبحث عنه فى المكتبات العامة.

Robert Noyes, The Sun, Our Star, Harvard University Press, 1982. - ٢٢

أفضل وصف غير متخصص للشمس وطريقة عملها فى الوقت الذى كُتب فيه، لكن الأحداث قد تجاوزته الآن. والمؤلف أستاذ علم الفلك فى جامعة هارفارد، ولقد أشار بشكل مختصر إلى مشكلة النيوترين والذبذبات الشمسية، ولم يذكر شيئاً، بالطبع، عن الوميضات لكنه متمكن فى موضوعات مثل بقع الشمس وتغير وجه الشمس وإنتاج الطاقة فى النجوم.

Abraham Pais, Inward Bound, Oxford, University Press, 1986. - ٢٣

كتاب مدهش، وعمل عبقرى يدل على البراعة، فهو يغطى تاريخ فيزياء الجسيمات منذ اكتشاف الأشعة السينية فى عام ١٨٩٥، إلى الانشطار النووى فى أواخر الثلاثينيات بكفاءة بالغة وبوضوح لا يقل عن ذلك. يأتى هذا الجزء من الكتاب فى ٤٤٤ صفحة، ثم يستعرض فى ١٨٢ صفحة سنوات ما بعد الحرب بشكل سريع، لينتهى باكتشاف جسيمات Z و W ، التى يعتبرها الكثيرون أنها تشير إلى أن علماء الفيزياء على الطريق الصحيح نحو «النظرية الموحدة الكبرى» لكل الجسيمات وكل القوى الموجودة فى الطبيعة.

وبالرغم من أن هذا الكتاب زاخر بالعلم الدقيق، فإنه يروى أساساً قصة الفيزياء والأشخاص الذين شاركوا فى سنوات الاكتشاف العظيمة تلك. قد يكون سعره وليس صعوبة محتواه على الفهم السبب فى صدك عن شرائه، غير أن هذا الكتاب يستحق أن تتقّب عنه فى أية مكتبة عامة، أو تقنع المكتبة أن تضعه على أرففها. وإذا كنت محرّجاً من سعر الكتاب أو حجمه فلتحاول الحصول على كتب Frank Close التى أشرت إليها آنفاً.

صدر فى هذا المشروع (٥)

• أولاً: الموسوعات والمعاجم

ليونارد كوتريل، الموسوعة الأثرية العالمية
ويليام بيتر، معجم التكنولوجيا الحيوية
ج. كارفيل، تبسيط المفاهيم الهندسية
ب. كوملان، الأساطير الإغريقية والرومانية
و.د. هاملتون وآخرون، المعجم الجيولوجى
المصور فى المعادن والصخور والحفريات
حسام الدين زكريا، المعجم الشامل للموسيقى
العالمية (ج ١، ٢)

خيرية البشلاوى، معجم المصطلحات
السينمائية

دونالد نيكول، معجم التراجم البيزنطية

• ثانياً: الدراسات الاستراتيجية وقضايا العصر

د. محمد نعمان جلال، حركة عدم الانحياز فى
عالم متغير

إريك موريس، الآن هو، الإرهاب

ممدوح عطية، البرنامج النووى الإسرائيلى
د. لينوار تشامبرز رايت، سياسة الولايات
المتحدة الأمريكية إزاء مصر

إزرا فوجل، المعجزة اليابانية

د. السيد نصر السيد، إطلاقات على الزمن
الآتى

بول هاريسون، العالم الثالث غذاً

أقطاب العلماء الأمريكيين، مبادرة النفاذ

الاستراتيجى: حرب الفضاء

و. مونتجرى وات، الإسلام والمستحية فى
العالم المعاصر

بادى أونيمود، أفريقيا الطريق الآخر

فانس بكارد، إتهم بصنعون البشر (ج ٢)

مارتن فان كريفلد، حرب المستقبل

ألفين توفلر، تحول السلطة (ج ٢)

ممدوح حامد عطية، إتهم يقتلون البيئة

د. السيد أمين شلبى، جورج كينان

يوسف شرارة، مشكلات القرن الحادى

والعشرين والعلاقات الدولية

د. السيد عليوة، إدارة الصراعات الدولية

د. السيد عليوة، صنع القرار السياسى

جرج كاشمان، لماذا تنشب الحروب (ج ٢)

إيمانويل هيمان، الأصولية اليهودية

آلان أنترمان، اليهود (عقائدهم الدينية

وعباداتهم)

د. ممدوح عطية وآخرون، البرنامج النووى

الإيراني والمتغيرات فى أمن الخليج

أنجيلو كودفيللا، المخابرات وفن الحكم

بريدراج ماتفيجيفتش، تراتيل متوسطة

• ثالثاً: العلوم والتكنولوجيا

ميكائيل ألبى، الانقراض الكبير

فيرنر هيزنبرج، الجزء والكل: محاورات فى

مضمار الفيزياء الذرية

فريد هويل، البذور الكونية

ويليام بينز، الهندسة الوراثية للجميع

د. جوهان دورشتر، الحياة فى الكون كيف

نشأت وأين توجد

إسحق عظيموف، الشمس المتفجرة (أسرار

السوبرنوفا)

(٥) قائمة مصنفة وموجزة بالكتب التى صدرت فى مشروع الألف كتاب الثانى، ولمزيد من البيانات يمكن

الرجوع إلى قائمة المشروع بموقع الهيئة المصرية العامة للكتاب WWW.egyptianbook.org

روبرت لافور، البرمجة بلغة السي باستخدام
تيربوسى (ج٢)

إدوارد إيه فايجينباوم، الجيل الخامس للحاسوب
د. محمود سرى طه، الكمبيوتر فى مجالات
الحياة

د. مصطفى عاتى، الميكروكمبيوتر

ى. رادو نساكاي، الإلكترونيات والحياة الحديثة
جلال عبد الفتاح، الكون تلك المجهول

إيفرى شاتزمان، كوننا المعتمد

فرد س. هيس، تبسيط الكيمياء

كاتى ثير، تربية اللواجن

د. محمد زينهم، تكنولوجيا فن الزجاج

لارى جونيك ومارك هوبليس، الوراثة

والهندسة الوراثية بالكاريكاتير

جينا كولاتا، الطريق إلى دى

دور كاس ماكلينتوك، صور أفريقية: نظرة

على حيوانات أفريقيا

إسحق عظيموف، أفكار العلم العظيمة

د. مصطفى محمود سليمان، الزلازل

بول دافيز، الدقائق الثلاث الأخيرة

ويليام هـ .. ماثيوز، ما هى الجيولوجيا؟

إسحق عظيموف، العلم وآفاق المستقبل

ب.س. ديفيز، المفهوم الحديث للمكان

والزمان

د. محمود سرى طه، الاتجاهات المعاصرة فى

عالم الطاقة

بانش هوفمان، آينشتين

زافيلسكى ف.س.، الزمن وقياسه

ر.ج. فوريس، تاريخ العلم والتكنولوجيا (ج٢)

د. فاضل أحمد الطائى، أعلام العرب فى

الكيمياء

رولاند جاكسون، الكيمياء فى خدمة الإنسان

إبراهيم القرضاوى، أجهزة تكييف الهواء

ديفيد ألدرتون، تربية أسماك الزينة

أندريه سكوت، جواهر الطبيعة

ليجور إكموشكين، الإثنولوجى

بارى باركر، السفر فى الزمان الكونى

ديمتري ترايفونوف، ظلال الكيمياء

بول ديفز، جونز جريبن، أسطورة المادة

جيفرى ماوساييف ماسون، حين تبكى الأفيال

ليونارد كول، السلاح الحادى عشر

و. جراهام ريتشاردز، أسرار الكيمياء

د. زين العابدين متولى، وبالنجم هم يهتدون

د. كامل زكى حميد، الاستساح قبيلة بيولوجية

فلاديمير سميلجا، النسبية والإنسان

د. محمد فتحى عوض الله، رحلات جيولوجية

فى صحراء مصر الشرقية

ليونيد بونوماريف، الاحتمالات المثيرة للنظرية

الكمية

• رابعاً: الاقتصاد

ديفيد وليام ماكديول، مجموعات النقود

(صياتها، تصنيفها، عرضها)

د. نورمان كلارك، الاقتصاد السياسى للعلم

والتكنولوجيا

سامى عبد المعطى، التخطيط السياحى فى

مصر

جابر الجزار، ماستريخت والاقتصاد المصرى

ولت ويتمان روستو، حوار حول التنمية

الاقتصادية

فيكتور مورجان، تاريخ النقود

ليستر ثورو، مستقبل الرأسمالية

د. ناصر جلال، حقوق الملكية الفكرية

• خامساً: مصر عبر العصور

محرم كمال، الحكم والأمثال والنصائح عند

المصريين القدماء

فرانسوا ديماس، آلهة مصر

سيريل ألدريد، إخناتون

موريس بيرايير، صناعات الخلود

بكنت أ. كنشن، رمسيس الثاني: فرعون
المجد والانتصار

ألن شورتر، الحياة اليومية في مصر القديمة
ونفرد هولمز، كانت ملكة على مصر
جاك كرابس جونيور، كتابة التاريخ في مصر
نفتالي لويس، مصر الرومانية
عبد مباحشر، البحرية المصرية من محمد علي
للسادات (١٨٠٥ - ١٩٧٣)

د. السيد طه أبو سديرة، الحرف والصناعات
في مصر الإسلامية
جابريل باير، تاريخ ملكية الأراضي في مصر
الحديثة

عاصم محمد رزق، مراكز الصناعة في مصر
الإسلامية

ت.ج. هـ. جيمز، كنوز الفراعنة

حسن كمال، الطب المصري القديم

أ.أس. إدواردز، أهرام مصر

سومرز كلارك، الآثار القبطية في وادي النيل
كريستيان ديروش نوبلكور، المرأة الفرعونية
بيل شول وأدبنيث، القوة النفسية للأهرام

جيمس هنري برستيد، تاريخ مصر

د. بيارد دودج، الأزهر في ألف عام

أ. سبنسر، الموتى وعالمهم في مصر القديمة
الفريد ج. بتلر، الكنائس القبطية القديمة في

مصر (ج ٢)

روز أليندم، الطفل المصري القديم

ج. و. مكفرسون، الموالد في مصر

جون لويس بوركهارت، العادات والتقاليد

المصرية من الأمثال الشعبية

سوزان راتيه، حتشبسوت

مرجريت مري، مصر ومجدها الغابر

أولج فولكف، القاهرة مدينة ألف ليلة وليلة

د. محمد أنور شكرى، الفن المصري القديم

ت.ج. جيمز، الحياة أيام الفراعنة

ايفان كونج، السحر والسحرة عند الفراعنة

تشارلز نيمس، طيبة (آثار الأقصر)

رندل كلارك، الرمز والأسطورة في مصر

القديمة

ديمتري ميكس، الحياة اليومية للآلهة

الفرعونية

محمد عبد الحميد بسيونى، باتوراما فرعونية

حمدي عثمان، هؤلاء حكموا مصر

ميكال ونتر، المجتمع المصري تحت الحكم

العثماني

بربارة واترسون، أقباط مصر

إيريك هورنونج، فكرة في صورة

بيير جراندبيه، رمسيس الثالث

محسن لطفى السيد، أساطير معبد أدفو

د. نبيل عبيد، الطب المصري في عصر

الفراعنة

• سادساً: الكلاسيكيات

جاليليو جاليليه، حوار حول النظامين الرئيسيين

للكون (ج ٣)

أبو القاسم الفردوسى، الشاهنامة (ج ٢)

إدوارد جيبون، اضمحلال الإمبراطورية

الرومانية وسقوطها (ج ٣)

ناصر خسرو علوى، سفر نامه

فيليب عطية، تراتيم زرادشت

جورج جاموف، بداية بلا نهاية

د. رمسيس عوض، أبرز ضحايا محاكم

التفتيش

• سابعاً: الفن التشكلى والموسيقى

عزيز الشوان، الموسيقى تعبير نفسى ومنطق

ألويز جرايتز، موتسارت

شوكت الربيعى، الفن التشكلى المعاصر في

الوطن العربى

ليوناردو دافنشى، نظرية التصوير

د. غبريال وهبه، أثر الكوميديا الإلهية لدانتى

فى الفن التشكيلى

روبين جورج كولنجوود، مبادئ الفن

مارتن جك، يوهان سباستيان باخ

ميخائيل شتيجمان، فيفالدى

هيربرت ريد، التربية عن طريق الفن

أدامز فيليب، دليل تنظيم المتاحف

حسام الدين زكريا، أنطون بروكنر

جيمس جينز، العلم والموسيقى

هوجولا يختنترت، الموسيقى والحضارة

محمد كمال إسماعيل، التحليل والتوزيع

الأوركستراالى

د. صالح رضا، ملامح وقضايا فى الفن

التشكيلى المعاصر

إدموندو سولمى، ليوناردو

سيونيد ميرى روبرتسون، الأشغال الفنية

والثقافة المعاصرة

• ثامناً: الحضارات العالمية

جاكوب برونوفسكى، التطور الحضارى

للإنسان

س.م. بورا، التجربة اليونانية

جوستاف جرونيباوم، حضارة الإسلام

أ.د. جرنى، الحيثيون

ل. ديلاپورت، بلاد ما بين النهرين

ج. كونتنو، الحضارة الفينيقية

جوزيف نيدهام، تاريخ العلم والحضارة فى

الصين

ستيفن رانسيمان، الحضارة البيزنطية

سبتيانو موسكاتى، الحضارات السامية

• تاسعاً: التاريخ

جوزيف داهموس، سبع معارك فاصلة فى

العصور الوسطى

هنرى بيرين، تاريخ أوروبا فى العصور

الوسطى

أرنولد توينبى، الفكر التاريخى عند الإغريق

بول كولز، العثمانيون فى أوروبا

جوناثان ريلى سميث، الحملة الصليبية الأولى

وفكرة الحروب الصليبية

د. بركات أحمد، محمد واليهود

ستيفن أوزمنت، التاريخ من شتى جوانبه (ج٣)

و. بارتولد، تاريخ الترك فى آسيا الوسطى

فلاديمير تيسمانيانو، تاريخ أوروبا الشرقية

د. ألبرت حورانى، تاريخ الشعوب العربية (ج٢)

نويل مالكوم، البوسنة

جارى.ب. ناش، الحمر والبيض والسود

أحمد فريد رفاعى، عصر المامون (ج٢)

آرثر كيسلر، القبيلة الثالثة عشرة ويهود

اليوم

ناجى متشيو، الثورة الإصلاحية فى اليابان

محمد فؤاد كوبرلى، قيام الدولة العثمانية

د. أبرار كريم الله، من هم التتار؟

ستيفن رانسيمان، الحملات الصليبية

آلبان ويدجرى، التاريخ وكيف يفسرونه (ج٢)

جوسيبى دى لونا، موسوليني

جوردون تشيلد، تقدم الإنسانية

ه.ج. ولز، معالم تاريخ الإنسانية (ج٤)

ه. سانت موس، ميلاد العصور الوسطى

يوهان هويزنجا، اضمحلال العصور الوسطى

ه.ج. ويلز، موجز تاريخ العالم

لورد كرومر، الثورة العربية

و. مونتجرى وات، محمد فى مكة

ألبرت براجو، ثورات أمريكا الإسبانية

• عاشراً: الجغرافيا والرحلات

ت.و. فريمان، الجغرافيا فى مائة عام

ليستريدل راى، الأرض الغامضة

رحلة جوزيف بتس (الحاج يوسف)

إميليا إدواردز، رحلة الألف ميل

رحلات فارتيميا (الحاج يونس المصرى)

د. روجر ستروجان، هل نستطيع تعليم الأخلاق للأطفال؟

إريك بون، الطب النفسي والتحليل النفسي
بيرتون بورتر، الحياة الكريمة (ج٢)
فرانكلين ل. باومر، الفكر الأوربي الحديث (ج٤)

هنري برجسون، الضحك
أرنست كاسيرر، في المعرفة التاريخية
و. مونتجمري وات، القضاء والقدر
إدوارد دو بونو، التفكير العملي

• ثاني عشر: العلوم الاجتماعية

د. محيي الدين أحمد حسين، التنشئة الأسرية والأبناء الصغار

م. و ثرنج، ضمير المهندس
رايموند وليامز، الثقافة والمجتمع
روى روبرتسون، الهيروين والإيدز
بيتر لوري، المخدرات حقائق نفسية
د. ليو بوسكاليا، الحب

برنسلو مالاينوفسكى، السحر والعلم والدين
بيتر ر. داي، الخدمة الاجتماعية والانضباط الاجتماعي

بيل جير هارت، تعليم المعوقين
أرنولد جزل، الطفل من الخامسة إلى العاشرة
رونالد د. سمبسون، العلم والطلاب والمدارس
كارل ساجان، عالم تسكنه الشياطين

• ثالث عشر: المسرح

لويس فارجاس، المرشد إلى فن المسرح
برونو ياشينسكى، حفلة ماتيكان
جلال العشري، فكرة المسرح
جان بول سارتر، جورج برناردشو، جان
أنوى مختارات من المسرح العالمي
د. عبد المعطى شعراوى، المسرح المصرى
المعاصر: أصله وبدائياته

رحلة بيرتون إلى مصر والحجاز (ج٣)

رحلة عبد اللطيف البغدادى فى مصر

رحلة الأمير رودلف إلى الشرق (ج٣)

يوميات رحلة فاسكو داجاما

س. هوارد، أشهر الرحلات إلى غرب أفريقيا
إريك أكسيلون، أشهر الرحلات فى جنوب أفريقيا

وليم مارسدن، رحلات ماركو بولو (ج٣)
د. مصطفى محمود سليمان، رحلة فى أرض سبأ

• حادى عشر: الفلسفة وعلم النفس

جون بورر، الفلسفة وقضايا العصر (ج٣)

سوندرراى، الفلسفة الجوهرية

جون لويس، الإنسان ذلك الكائن الفريد
سدنى هوك، التراث الغامض: ماركس
والماركسيون

إدوارد دو بونو، التفكير المتجدد
رونالد دافيد لانج، الحكمة والجنون والحماسة
د. توماس أ. هاريس، التوافق النفسى: تحليل
المعاملات الإنسانية

د. أنور عبد الملك، الشارع المصرى والفكر
نيكولاس ماير، شارلوك هولمز يقابل فرويد
أنطونى دى كرسبنى، أعلام الفلسفة
المعاصرة

جين وروبرت هاندلى، كيف تتخلصين من القلق؟

هـ. ج. كريل، الفكر الصينى

د. السيد نصر السيد، الحقيقة الرمادية

برتراند راصل، السلطة والفرد

مارجريت روز، ما بعد الحداثة

كارل بوبر، بحثا عن عالم أفضل

ريتشارد شاخت، رواد الفلسفة الحديثة

جوزيف داهموس، سبعة مؤرخين فى العصور
الوسطى

د. رمسيس عوض، الأدب الروسى قبل الثورة
البلشفية وبعدها
مختارات من الأدب اليابانى: الشعر، الدراما،
الحكاية، القصة القصيرة
ديفيد شبندر، نظرية الأدب المعاصر
نادين جورديمر وآخرون، سقوط المطر
وقصص أخرى
رالف نى ماثو، تولستوى
والتر آلن، الرواية الإنجليزية
هادى نعمان الهيتى، أدب الأطفال
مالكوم براى، الرواية اليوم
لوريتو تود، مدخل إلى علم اللغة
د. جابريل جارسيا ماركيز، سيمون بوليفار
أو (الجنرال فى المتاهة)
ديلاسى أوليرى، الفكر العربى ومكانه فى
التاريخ
د. على عبد الرؤوف الببى، مختارات من
الشعر الإسباني فى العصور الوسطى (ج ١)
ب. إفور إيفانز، موجز تاريخ الدراما
الإنجليزية
ج. س. فريزر، الكاتب الحديث وعالمه (ج ٢)
جورج ستاينر، بين تولستوى ودستوفسكى
(ج ٢)
ديلان توماس، مجموعة مقالات نقدية
فيكتور برومبير، ستندال (مقالات نقدية)
فيكتور هوجو، رسائل وأحاديث من المنفى
يانكو لافرين، الرومانتيكية والواقعية
د. نعمة رحيم الغزاوى، أحمد حسن الزيات
كاتباً وناقداً
ف. برميلوف، دستوفسكى
لجنة الترجمة بالمجلس الأعلى للثقافة، الدليل
الببليوجرافى: روائع الآداب العالمية (ج ١)
محسن جاسم الموسوى، عصر الرواية: مقال
فى النوع الألبى
هنرى باربوس، الجحيم

توماس ليبهارت، فن الماييم والباليتومايم
زيجمونت هينر، جماليات فن الإخراج
أوجين يونسكو، الأعمال الكاملة (٢ ج)
آلان ماكونالد، مسرح الشارع
نك كاي، ما بعد الحداثية والفنون الأدائية
بيتر بروك، التفسير والتفكيك والإيديولوجية
أندرية فيليب، الممثل الكوميدي
لى ستراسبيرج، تدريب الممثل
جلال جميل محمد، مفهوم الضوء والظلام فى
العرض المسرحى
أيوجينيو باربا، زورق من الورق

• رابع عشر: الطب والصحة
بوريس فينوروفيتش سيرجيف، وظائف
الأعضاء من الألف إلى الياء
د. جون شندلر، كيف تعيش ٣٦٥ يوماً فى
السنة

د. ناعوم بيتروفيتش، النحل والطب
م. هـ. كنج، التغذية فى البلدان النامية

• خامس عشر: الآداب واللغة
برتراند رسل، أحلام الأعلام وقصص أخرى
لألس مكسلى، نقطة مقابل نقطة
جول ويست، الرواية الحديثة: الإنجليزية
والفرنسية
أنور المعداوى، على محمود طه: الشاعر
والإنسان
جوزيف كونراد، مختارات من الأدب
القصصى

تاجور شين بين بنج وآخرون، مختارات من
الآداب الآسيوية
محمود قاسم، الأدب العربى المكتوب
بالفرنسية
سوربال عبد الملك، حديث النهر

كريستيان ساليه ، السيناريو فى السينما الفرنسية
 تونى بار ، التمثيل للسينما والتلفزيون
 آلان كاسبيار ، التفوق السينمائى
 بيتر نيكولز ، السينما الخيالية
 بول وارن ، خلفا نظام النجم الأمريكى
 دافيد كوك ، تاريخ السينما الروائية
 هاشم النحاس ، صلاح أبو سيف (محاورات)
 جان لويس بورى وآخرون ، فى النقد السينمائى الفرنسى
 محمود سامى عطالله ، الفيلم التسجيلى
 ستانلى جيه سولومون ، أنواع الفيلم الأمريكى
 جوزيف وهارى فيلمان ، دينامية الفيلم
 قدرى حفى ، الإنسان المصرى على الشاشة
 مونى براح ، السينما العربية من الخليج إلى المحيط
 حسين حلمى المهندس ، دراما الشاشة: بين النظرية والتطبيق للسينما والتلفزيون (٢ ج)
 جان بول كولن ، السينما الإثنوجرافية سينما الغد
 لويس ميرمان ، الأسس العملية لكتابة السيناريو للسينما والتلفزيون
 موريس إيجار كواندرو ، نظرات فى الأدب الأمريكى
 جوديث ويستون ، توجيه الممثل فى السينما والتلفزيون
 أحمد الحضرى ، تاريخ السينما فى مصر ج ٢

• ثامن عشر: كتب غيرت الفكر الإنسانى
 سلسلة لتلخيص التراث الفكرى الإنسانى فى صورة عروض موجزة لأهم الكتب التى ساهمت فى تشكيل الفكر الإنسانى وتطوره مصحوبة بترجم لمؤلفيه وقد صدر منها ١٠ أجزاء.

ميجيل دى ليبس ، القرنان
 روبرت سكولز وآخرون ، آفاق أدب الخيال العلمى
 يانيس ريتسوس ، البعيد (مختارات شعرية)
 ب. ليفور ليفانس ، مجمل تاريخ الأدب الإنجليزى
 فخرى أبو السعود ، فى الأدب المقارن
 سليمان مظهر ، أساطير من الشرق
 ف.ع. أدنكوف ، فن الأدب الروائى عند تولستوى
 د. صفاء خلوصى ، فن الترجمة
 بلدوميرو ليلو وآخرون ، قصص من أمريكا اللاتينية
 بورخيس ، مختارات الفانتازيا والميتافيزيقا
 مايكل كاتينجهام ، الساعات

• سادس عشر: الإعلام
 فرانسيس ج. برجين ، الإعلام التطبيقى
 بيبير ألبير ، الصحافة
 هربرت ثيلر ، الاتصال والهيمنة الثقافية

• سابع عشر: السينما
 هاشم النحاس ، الهوية القومية فى السينما العربية
 ج. داندلى أندرو ، نظريات الفيلم الكبرى
 روى آرمرز ، لغة الصورة فى السينما المعاصرة
 إدوارد مري ، عن النقد السينمائى الأمريكى
 جوزيف م. يوجز ، فن الفرجة على الأفلام
 سعيد شيمى ، التصوير السينمائى تحت الماء
 دوايت سوين ، كتابة السيناريو للسينما
 هاشم النحاس ، نجيب محفوظ على الشاشة
 يوجين فال ، فن كتابة السيناريو
 دانييل أريخون ، قواعد اللغة السينمائية

• تاسع عشر: الأعمال المختارة

يومان هويزنجا، أعلام وأفكار

د. مصطفى طه بدر، محنة الإسلام الكبرى

ت. كويلر ينج، الشرق الأدنى

جيمس نيومان؛ ميشيل ويلسون، رجال عاشوا

للعلم

ابن زنبيل الرمال ، آخرة الممالك

د. محمد عوض محمد ، نهر النيل

آرثر كريستسن، إيران في عهد الساسانيين

أوجست ديبس، أفلاطون

يعقوب فام، الهراجماتية

بلوطرخوس، العظماء

آدم متز، الحضارة الإسلامية (٢ ج)

تشارليز ديكنز، مذكرات بكويك جـ ١

روبرت ديبيوجراند وآخرون ، منخل إلى علم

لغة النص

محمد كرد علي، بين المدنية العربية

والأوربية

ولفرد جوزف دल्ली، العمارة العربية بمصر

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب
ص.ب : ٢٣٥ الرقم البريدى : ١١٧٩٤ رمسيس
WWW.egyptianbook.org.eg
E - mail : info @egyptianbook.org.eg

إن قرب الشمس من كوكبنا (فهى تقع على بعد ١٥٠ مليون كيلو متر) يجعل شدة سطوع سطحها عالية جدا، بحيث تساعد على إخفاء المعالجات التى تتم فى أعماقها مولدة كميات ضخمة من الطاقة. ويصف لنا الكتاب ما يحدث فى قلب الشمس، فقد كانت رؤية قلب الشمس وإجراء قياسات مباشرة للظروف هناك حلما صعب التحقيق بالنسبة لرواد الفيزياء الفلكية، لكنه أصبح حقيقة بفضل تضافر وتنافس جهود العلماء فى مجال علم الزلازل الشمسية والفيزياء النووية والفيزياء الفلكية بالطبع.

ويحدثنا هذا الكتاب عن جسيمات تحت نووية تحيط بنا ولا نشعر بوجودها، مثل النيوتريـنو، والـويمب، وأخرى غيرهما. كما يكشف لنا كيف أن الشمس تتنفس وترتجف. ولا يكتفى هذا الكتاب بأن يحكى لنا قصة كيف بدأ رواد الفيزياء الفلكية فى كشف أسرار الشمس، بل إنه يوضح الطريق إلى سبر قلب الشمس فى العقود القادمة. كما يجيب بأسلوبه المشوق عن العديد من الأسئلة عن حياة الشمس، مثل: كيف تحتفظ بحرارتها؟ ومم تتكون؟ وما التفاعلات التى تجرى فى قلبها؟ وكم عمرها؟ وإلى متى ستظل تبعث بأشعتها إلى كوكبنا؟ جون جريبين من أكثر الكتاب العلميين انتشارا لما يتميز به من أسلوب جذاب وحس ساخر، حصل على العديد من الجوائز عن كتاباته العلمية فى مجال الفيزياء والفلك والفيزياء الفلكية، فى كل من بريطانيا والولايات المتحدة.

الهيئة المصرية العامة للكتاب

٩,٥ جنيه

ISBN# 9789774204938



6 221149 009387